

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Dalibor Stankovski

Zagreb, 2009

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:

Prof.dr.sc. Joško Deur

Dalibor Stankovski

Zagreb, 2009.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

*Zahvaljujem prof.dr.sc. Jošku Deuru, dipl. ing. na ukazanom povjerenju prihvatanjem mentorstva za ovaj rad.*

*Poduzeću Pecon d.o.o. i direktoru Zlatku Prici koji su mi omogućili da izradim navedeni rad.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji, roditeljima i svima koji su mi pružili potporu tokom mog studija.*

Zagreb, srpanj 2009. Dalibor Stankovski



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Zagreb, 13. studenog 2008.

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dalibor Stankovski**

Mat. br.: 1191195877

Naslov: **Logičko upravljanje uređajem za pasterizaciju sladoleda**

Opis zadatka:

Izraditi program na programabilnom logičkom kontroleru (PLC-u) za upravljanje uređajem za pasterizaciju sladoleda kapaciteta 60 litara. Temeljem postavljenih zahtjeva, program treba provesti automatsku pasterizaciju za različite temperaturne režime rada. Također, po završetku pasterizacije treba održavati temperaturu smjese do maksimalnog zadanog iznosa, te treba predvidjeti mogućnost ručnog upravljanja mješalicom i odabir radnog kapaciteta uređaja. U radu je potrebno:

- Opisati izvedbu i osnovne značajke PLC-a koji se koristi;
- postaviti načelno rješenje problema za pojedine režime rada i prikazati vremenske dijagrame;
- prikazati konačno rješenje problema u stepeničastom dijagramu za dani PLC;
- opisati rezultate ispitivanja predloženog sustava upravljanja na stvarnom uređaju.

U radu je, također, potrebno navesti korištenu literaturu, te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

26. studenog 2008.

Rok predaje rada:

studeni 2009.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Joško Deur

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Dujaković Majetić

# Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Programabilni Logički Kontroler .....	3
2.1. Općenito o PLC-u.....	3
2.2. Veličine sustava.....	4
2.3. Korisničko sučelje.....	4
2.4. Komunikacija.....	4
2.5. Usporedba PLC-a sa drugim upravljačkim sustavima.....	4
2.6. Digitalni i analogni signali.....	5
2.7. Primjer.....	6
2.8. Programiranje.....	7
3. Programski problem.....	8
3.1. Karakteristike korištenog PLC-a.....	12
4. Rješenje programskog problema.....	13
4.1. Opis rada programa.....	13
4.2. Automatski rad na 65 °C, 75 °C i 85 °C.....	14
4.3. Čuvar smjese.....	18
4.4. Korisničko sučelje.....	20
4.4.1. „Display 1“ – Glavni ekran.....	21
4.4.2. „Display 2“ – Razina posude.....	22
4.4.3. „Display 3“ – Odabir i start.....	23
4.4.4. „Display 4“ – Manualni rad mješalice.....	24
4.4.5. „Display 5“ – Prekid programa.....	25
4.4.6. „Display 6“ – Manualni odabir.....	25
4.4.7. „Display 7“ – Manualno kompresor, pumpa i grijač.....	27
5. Iskustva s primjenom projektiranog uređaja .....	29
6. Zaključak.....	30
 Prilog A.....	 31
Prilog A.1 – Stepeničasti dijagram.....	32
Prilog A.2 – Inicijalne vrijednosti.....	48
Prilog A.3 – Varijable.....	49
Prilog A.4 – Korišteni simboli.....	53

## Popis slika

Slika 1. PLC.....	3
Slika 2. Shema upravljanja nivoom vode u spremniku.....	6
Slika 3. Ljestvičasti logički dijagram.....	7
Slika 4a. Fotografije pastera sladoleda - Prednji pogled.....	8
Slika 4b. Fotografije pastera sladoleda – Stražnji pogled.....	8
Slika 5. Elektro ormar.....	9
Slika 6. PLC.....	10
Slika 7. Shema izlaza – PLC.....	11
Slika 8. Temperaturna sonda Pt-100.....	11
Slika 9. Shema spajanja sonde na PLC.....	11
Slika 10. PLC.....	12
Slika 11. Prikaz kretanja kroz ekrane.....	20
Slika 12. „Display 1“ – Glavni ekran.....	21
Slika 13. „Display 2“ – Razina posude.....	22
Slika 14. „Display 3“ – Odabir i start.....	23
Slika 15. „Display 4“ – Manualni rad mješalice.....	24
Slika 16. „Display 5“ – Prekid programa.....	25
Slika 17. „Display 6“ – Manualni odabir.....	26
Slika 18. „Display 7“ – Manualno kompresor, pumpa i grijač.....	27

## Popis dijagrama

Dijagram 1. Automatski rad 65 °C.....	15
Dijagram 2. Automatski rad 75 °C.....	16
Dijagram 3. Automatski rad 85 °C.....	17
Dijagram 4. Čuvar smjese.....	19

## SAŽETAK

U ovom radu je izrađen i praktično ispitani program na programabilnom logičkom kontroleru (PLC-u) za upravljanje uređajem za pasterizaciju sladoleda kapaciteta 60 litara. Prema danim zahtjevima program treba provesti automatsku pasterizaciju na tri različita temperaturna režima rada: na 65 °C, 75 °C i 85 °C. Također uređaj treba nakon završene pasterizacije raditi kao „čuvar smjese“, tj. održavati temperaturu smjese do maksimalno 6 °C do trenutka pražnjenja posude. Još je nužno realizirati mogućnost ručnog upravljanja mješalicom i odabira radnog kapaciteta: pola (30 litara) ili cijeli (60 litara) kapacitet. Za upravljanje uređajem korišten je PLC proizvođača Unitronic, tip: M91-2-R1.

Praktičnim ispitivanjem u radu utvrđeno je da program ispravno radi i da su zadovoljeni zadani zahtjevi. Jedan od bitnijih zahtjeva je trajanje procesa. Dobiveno je trajanje cijelog procesa pasterizacije pri najvišem temperaturnom režimu (od 85 °C) zajedno sa ohlađivanjem smjese do 4 °C u vremenu od oko 60 min, što je zadovoljavajuće. Također, izmjereno je vrijeme od oko 60 min, koje je potrebno da nakon ohlađivanja na 4 °C postigne temperaturu od 6 °C, kad se uključi kompresor za hlađenje u toku rada „čuvanja smjese“. Što je također zadovoljavajuće.

Kompletan uređaj se nalazi u pogonu već nešto više od dvije godine i dosad nije bilo prigovora na njegov rad. Investitor je posebno zadovoljan brzinom rada, koja je znatno bolja u odnosu na sličan uređaj koji je prije bio korišten. Također su pohvaljene programske mogućnosti.

## 1. Uvod

Pasterizacija je postupak izlaganja namirnica (najčešće tečnih, posebno mlijeka) temperaturi 55-85°C radi produženja roka trajanja.

Pasterizacija je općenito proces uništavanja vegetativnih formi mikroorganizama uz istovremenu inaktivaciju enzima u hrani. Postiže se izlaganjem namirnica letalnom vremenu i letalnoj temperaturi koji su različiti za različite vrste hrane i referentne mikroorganizme. Pasterizacijom se uništavaju bakterije, a da se pri tome bitno ne mijenja sastav, ukus i prehrambena vrijednost namirnice. Međutim svakim toplinskim tretmanom dolazi do degradativnih procesa u hrani kao što je gubitak vitamina, pigemanta i sl.

U radu je prikazan i opisan način rada uređaja za pasterizaciju sladoleda. Uređaj je manjih dimenzija i kao takav namijenjen je manjim proizvođačima sladoleda. Funkcija uređaja je: Pasterizacija sladoleda ili slične smjese, mogućnost samo miješanja smjese, mogućnost „čuvanja smjese“ na niskoj temperaturi.

Za zadani uređaj je izrađen i opisan upravljački program na programabilnom logičkom kontroleru.

## 2. Programabilni logički kontroler

### 2.1. Općenito o PLC-u

Programabilni logički kontroler (PLC) ili samo programabilni kontroler je digitalno računalo koje se koristi za automatizaciju industrijskih procesa i postrojenja.

Glavna razlika PLC-a u odnosu na druga računala je da su PLC-i oklopljeni da rade u ekstremnim uvjetima kao što su prašina, vlaga, toplina i hladnoća. Imaju mogućnost korištenja širokog raspona ulaza i izlaza. Oni povezuju PLC sa senzorima i aktuatorima. PLC-i čitaju limit prekidače i varijable analognih procesa (kao što su temperatura i tlak), te pozicioniraju kompleksne sustave za pozicioniranje. Neki koriste senzore strojeva „vid stroja“ (engl. „machine vision“). Na pogonskoj strani, PLC-i upravljaju elektromotornim, pneumatskim ili hidrauličnim cilindrima, magnetskim relejima, grijačima i sl.. Ulazi/izlazi mogu biti ugrađeni u kompaktan PLC, ili PLC može imati posebne ulazno/izlazne module povezane sa računalnom mrežom spojenom na PLC.



Slika 1: PLC



## 2.2. Veličine sustava

PLC manje procesne moći ima fiksni broj ugrađenih priključaka za ulaze i izlaze. Uobičajeno su moguća proširenja ukoliko glavni dio nema dovoljno ulaza ili izlaza.

Modularni PLC-i imaju kućište u koje su uključeni moduli sa raznim funkcijama. Procesor i odabrani ulazno/izlazni moduli koriste prema potrebi određene aplikacije. Više kućišta može biti upravljano jednim procesorom i mogu imati stotine ulaza i izlaza. Kako bi kućišta mogla biti udaljena od procesora kod velikih postrojenja, zbog uštede na troškovima ožičenja koristi se posebna ulazno/izlazna serijska veza.

## 2.3. Korisničko sučelje

PLC-i trebaju imati mogućnost komunikacije s operaterom u svrhu konfiguriranja, alarmnih izvješća ili svakodnevne kontrole.

„Ljudsko-Strojno Sučelje“ (engl. „Human-Machine Interface“) (HMI) je sučelje koje se koristi za ovu svrhu. HMI-i se mogu odnositi i na MMI-je, tj. „Čovjek-Stroj Sučelje“ (engl. „Man Machine Interface“) i GUI, tj. „Grafičko Korisničko Sučelje“ (engl. „Graphical User Interface“).

Jednostavan sustav može koristiti gumbе i svjetla za komunikaciju sa korisnikom. Mogu se koristiti tekstualni ekrani, kao i grafički ekrani na dodir (engl. „touch screen“). Složeniji sustavi koriste programabilni i nadzorni software instaliran na računalu spojen s PLC-ovim komunikacijskim sučeljem.

## 2.4. Komunikacija

PLC-i imaju uobičajeno ugrađene 9-pinske RS232 komunikacijske portove, kao opcija za RS485 i Ethernet. Modbus, BACnet ili DF1 je uobičajeno neki od komunikacijskih protokola. Druge opcije uključuju razne pojasne sabirnice kao što su DeviceNet ili Profibus.

Većina novih PLC-ova mogu komunicirati preko mreže sa drugim sustavima, kao što su ručunalno pogonjeni SCADA (engl. „Supervisory Control And Data Acquisition“) sustav ili web pretraživač.

PLC-i korišteni u većim ulazno/izlaznim sustavima mogu imati isto raznsku (engl. peer-to-peer) P2P komunikaciju između procesora. Ovo omogućava da razdvojeni dijelovi složenih procesa imaju pojedinačnu kontrolu, dok omogućuju podsustavima da se koordiniraju preko komunikacijskog kanala. Ovakovi komunikacijski kanali se učestalo koriste za HMI uređaje kao i tipkovnice ili PC- tip radne stanice. Neki od današnjih PLC-a mogu komunicirati preko širokog raspona medija uključujući RS-485, koaksijalni i čak Ethernet.

## 2.5. Usporedba PLC-a s drugim upravljačkim sustavima

PLC-i se koriste za širok raspon automatizacijskih zadataka. Oni su uobičajeni za industrijske proizvodne procese gdje je cijena razvoja i održavanja automatizacijskih sustava nezamjetna spram cjelokupnog troška automatizacije i gdje su tokom rada očekivane izmjene u sustavu. PLC-i sadrže ulazne i izlazne sklopove kompatibilne sa vodećim industrijskim uređajima i upravljačkim jedinicama. Potrebno je minimalno električno ožičenje i projektni problem se usredotočuje na programiranje. PLC programi su uobičajeno visoko prilagodljivi sustavi tako da je trošak paketa PLC-a nizak u usporedbi sa troškom specifičnog sustava za neki proces prolagođenog upravljačkog sučelja. S druge pak strane, u slučajevima masovne proizvodnje, prilagođeni upravljački sustavi su ekonomičniji zbog nižih

troškova komponenata koje se mogu optimalno izabrati umjesto jednog „općeg“ rješenja.

Za masovne primjene ili vrlo jednostavne fiksne automatizacijske zadatke, koriste se različite tehnike. Na primjer, perilice suđa su kontrolirane od strane posebno izrađenih elektromehaničkih vremenskih sklopova (engl. „tajmera“) čija je cijena samo nekoliko dolara u masovnoj proizvodnji.

Namjenski mikro kontrolerski uređaji su primjereni za stotine ili tisuće jedinica koje će biti proizvedene, a razvojni troškovi (projekt dobave energije i ulazno / izlaznih hardvera) se šire na sve, te gdje krajnji korisnik ne treba promjene upravljanja. Automobilske aplikacije su dobar primjer, milijuni jedinica su izgrađeni svake godine, a vrlo malo krajnjih korisnika radi promjene u programima ovih kontrolera. Međutim, kod nekih specifičnih vozila, kao što su autobusevi, ekonomičnije je koristiti PLC-e umjesto posebno kreiranih kontrolera, jer su količine male i cijene razvoja bi bile neekonomične.

Veoma složeni procesi kontrole, kao što se koriste u kemijskoj industriji, mogu zahtijevati izvođenje algoritama izvan mogućnosti čak i PLC-a visokih performansi. Vrlo velike brzine ili preciznosti upravljanja mogu također zahtijevati prilagođena rješenja, na primjer, kontrola leta zrakoplova.

Programabilni kontroleri se naširoko koriste u upravljanju gibanja i pozicioniranja. Neki proizvođači proizvode jedinice za upravljanje gibanjem koje mogu biti integrirane s PLC-om, tako da se G-kod (koji upravlja CNC strojem) može koristiti za upravljanje pokretima stroja.

PLC-i mogu sadržavati blokove za standardne tipove regulatora, kao što je proporcionalno-integralni-derivativni (PID) regulator. PID regulator se na primjer može koristiti za regulaciju temperature u proizvodnom procesu. Kroz povijest, PLC-i su se obično konfigurirali sa samo nekoliko analognih regulacijskih petlji. Proces i kojima su bile potrebne stotine ili tisuće petlji su koristili distribuirani sustav upravljanja (DCS). Kako su PLC-i sve moćniji, granica između PLC i DCS aplikacija postaje sve manja.

PLC-i imaju slične funkcionalnosti kao jedinice za daljinsko priključenje (engl. Remote Terminal Units). RTU-i, međutim, obično ne podržavaju regulacijske algoritme. Kako hardver ubrzano postaje snažniji i jeftiniji, RTU-i, PLC-i i DCS-i su se počeli preklapati u područjima primjene, a mnogi proizvođači nude RTU-e sa značajkama kao što su PLC-i i obratno. Industrija je standardizirala IEC 61131-3 funkcionalni blok jezika za izradu programa za prikazivanje na RTU-ima i PLC-ima, iako gotovo svi dobavljači nude alternative i vlasnički povezana razvojna okruženja.

## 2.6. Digitalni i analogni signali

Digitalni signali se ponašaju kao binarni prekidači, postavljajući jednostavno Uključi (On) ili Isključi (Off) signal (1 ili 0, True ili False). Pritisni gumbi, ograničavajući preklopnici i fotoelektrični senzori su primjer uređaja koji daju digitalne signale. Digitalni signali poslani su koristeći ili napon ili struju, gdje je raspon određen kao Uključeno ili Isključeno. Na primjer, PLC može koristiti 24 V naponski ulaz, s vrijednostima iznad 22 V za Uključeno i vrijednosti ispod 2V za Isključeno, dok su srednje vrijednosti nedefinirane. U početku su PLC-i imali samo digitalne ulaze i izlaze.

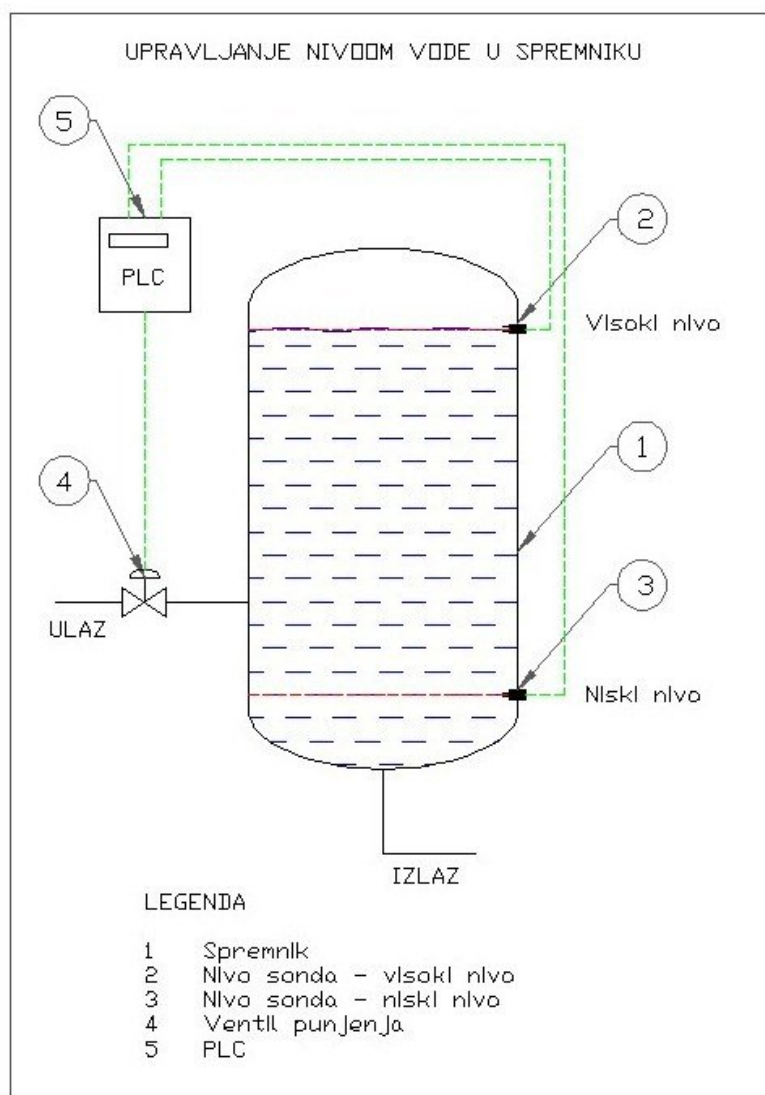
Analogni su signali, poput mjerenja volumena obično, u rasponu vrijednosti između „prazan“ i „pun“. To se obično tumači kao cjelobrojna vrijednost u PLC-u, s raznim rasponima točnosti ovisno o uređaju i broja raspoloživih bitova za pohranu podataka. Obično PLC-i koriste 16-bitne procesore gdje su integer vrijednosti

ograničene između 32.767 i -32.768. Tlak, temperatura, protok i masa su primjeri analognih signala. Analogni signali mogu biti naponski ili strujni s rasponom proporcionalnih vrijednosti procesnog signala. Na primjer, analogni 4-20 mA ili 0 – 10 V ulaz će biti pretvoren u integer vrijednost 0 – 32.767.

Strujni ulazi su manje osjetljivi na električni šum (npr. od zavarivača ili starta elektromotora) nego naponski ulazi.

## 2.7. Primjer

Kao jednostavan primjer daje se pogon koji treba pohraniti vodu u spremnik. Voda se izvlači prema potrebi. U našem primjeru sustav mora upravljati razinom vode u spremniku, koristeći samo digitalne signale.



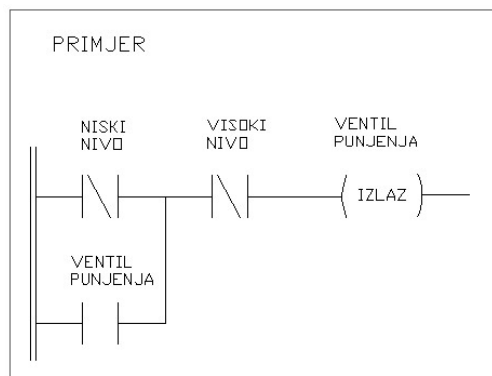
Slika 2: Shema upravljanja nivoom vode u spremniku

PLC ima dva digitalna ulazna prekidača (niskog nivoa i visokog nivoa). Kada je nivo vode previsok punjenje spremnika se prekida. PLC koristi digitalni izlaz za otvaranje i zatvaranje ulaznog ventila dobavne tekućine na spremniku.

### Opis

Kada padne razina vode ispod niskog nivoa dobijemo signal u '1' na izlazu (ventil punjenja otvoren). Dizanjem nivoa vode preko niskog nivoa veza radnog kontakta ventila punjenja je još uvijek u '1' i izlaz je u '1'. Prelaskom razine vode preko visokog nivoa mirni kontakt visokog nivoa je u '0', i tada je i izlaz u '0' (ventil punjenja zatvoren).

Rješenje primjera dano je u ljestvičastom logičkom dijagramu (Slika 3).



Slika 3: Ljestvičasti logički dijagram

Ljestvičasti dijagram je prvi programski jezik za programiranje PLCa.

Program PLCa crtao se na temelju električke sheme relejne logike koju je PLC-om trebalo zamijeniti.

Programski elementi  $\text{+}$   $\text{+}$  i  $\text{+}$   $\text{+}$  nazivaju se radni i mirni kontakt (NO – engl. normally open, NC – engl. normally closed).

Služe provjeri stanja signala kojeg se iznad njih navede.

Provjera na NO je '1' onda i samo onda kad je dotični signal u '1'

Provjera na NC je '1' onda i samo onda kad je dotični signal u '0'

Element "vodi" kad je provjera stanja signala na njemu '1'

Kod ljestvičastih dijagrama, dakle, uspostavlja se virtualni tok energije slijeva nadesno.

Analogni sustav može još koristiti i senzor tlaka vode ili opterećenja ćelije i podešavati otjecanje iz spremnika koje podešava ventil za polagano vraćanje vode natrag u spremnik.

## 2.8. Programiranje

PLC programi su obično pisani u posebnom programu na osobnom računalu, a zatim se prebacuju na PLC sa direktnom vezom kabelom ili preko mreže. Program je pohranjen u PLC-u u baterijskom back-up RAM-u ili nekoj drugoj stalnom memoriji. Često se jedan PLC može programirati kao zamjena tisućama releja.

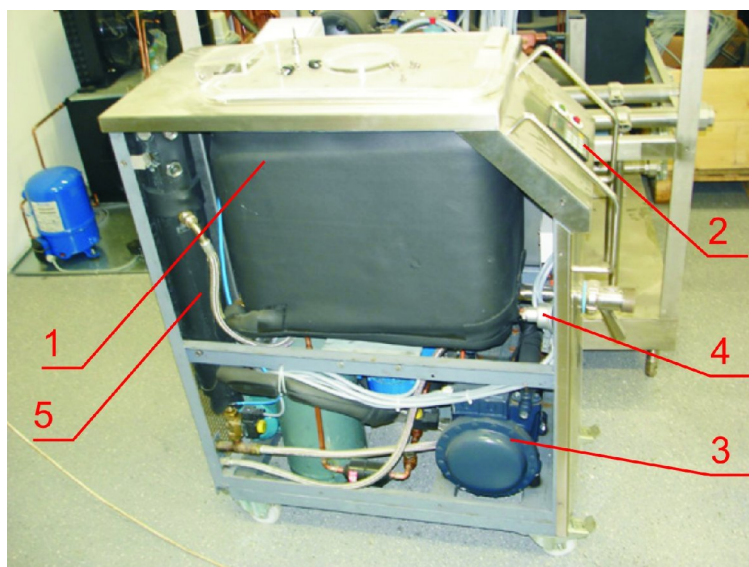
Prema IEC 61131-3 standardu, PLC-i se mogu programirati pomoću standardnih PLC programskih jezika. Grafički programski zapisi koje zovemo sljedni funkcijski znakovi su dostupni za pojedine programske kontrolere.

Nedavno je postala popularna međunarodna norma IEC 61131-3. IEC 61131-3 trenutno definira pet programskih jezika za programabilne kontrolerske sustave: FBD ili dijagram funkcijskih blokova (engl. Function block diagram), LD ili ljestvičasti dijagram (engl. Ladder diagram), ST ili strukturirani tekst (engl. Structured text, sličan Pascal programskom jeziku), IL ili instrukcijski list (engl. Instruction list, sličan asemerskom jeziku) and SFC ili sljedno funkcijski dijagram (engl. Sequential function chart). Ove tehnike naglašavaju logičku organiziranost operacija.

Iako su temeljni koncepti programiranja PLC-a zajednički za sve proizvođače, razlike u ulazno / izlaznom adresiranju, pamćenju i organizaciji skupova instrukcija znače da PLC programi raznih proizvođača nikad neće imati istu programsku sintaksu. Čak i unutar iste linije proizvoda od istog proizvođača, različiti modeli možda neće biti direktno kompatibilni.

### 3. Programski problem

Na temelju dobivenih zahtjeva od investitora, bilo je potrebno izraditi uređaj za pasterizaciju sladoleda. Uređaj je prikazan na Slici 4. sastoji se od posude u kojoj se vrši pasterizacija, sustava za grijanje posude, sustava za hlađenje posude, senzora temperature, miješalice s mogućnošću rada u dvije brzine, ventila kojim se može regulirati grijanje i hlađenje cijele ili pola posude, elektro ormara i PLC-a kojim se upravlja cijeli proces.



(a)



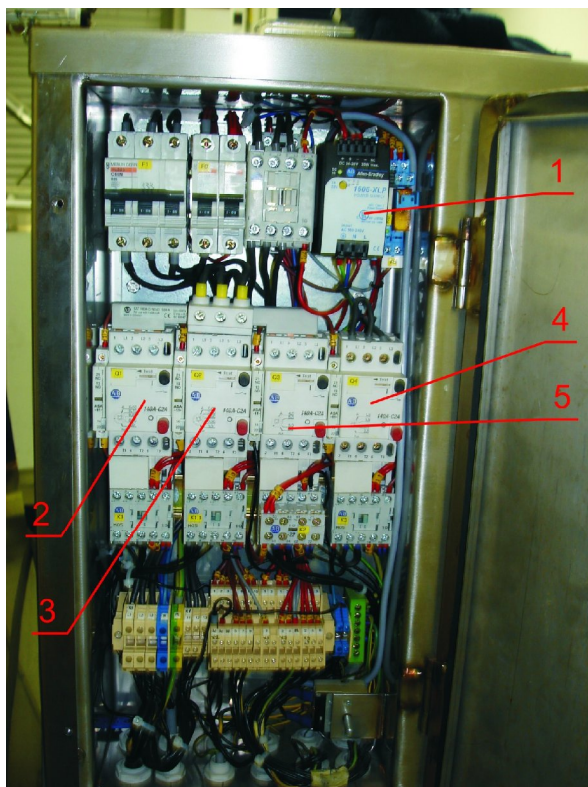
(b)

Slika 4. Fotografije pastera sladoleda  
Prednji pogled (a), Stražnji pogled (b)

Legenda:

- |                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 – posuda                         | 6 – elektro ormar                 |
| 2 – PLC                            | 7 – pumpa radnog medija (glikola) |
| 3 – kompresor                      |                                   |
| 4 – sonda temperature              |                                   |
| 5 – grijač radnog medija (glikola) |                                   |

Na slici 5 prikazan je elektro ormar i označeni glavni dijelovi elektro ormara:



Slika 5: Elektro ormar

Legenda:

- 1 - Transformator PLC-a
- 2 - Uklopnik mješalice
- 3 - Uklopnik kompresora
- 4 - Uklopnik pumpe
- 5 - Uklopnik grijača

Za navedeni uređaj bilo je potrebno izraditi program koji će potpuno automatski vršiti pasterizaciju na tri različita temperaturna režima rada: na 65 °C, na 75 °C i na 85 °C. Također, uređaj je morao nakon završene pasterizacije raditi kao „čuvar smjese“, tj. održavati temperaturu smjese do maksimalno 6 °C do trenutka pražnjenja posude.

Za upravljanjem uređajem korišten je PLC proizvođača Unitronic, tip: M91-2-R1 (Slika 6).





Slika 6: PLC

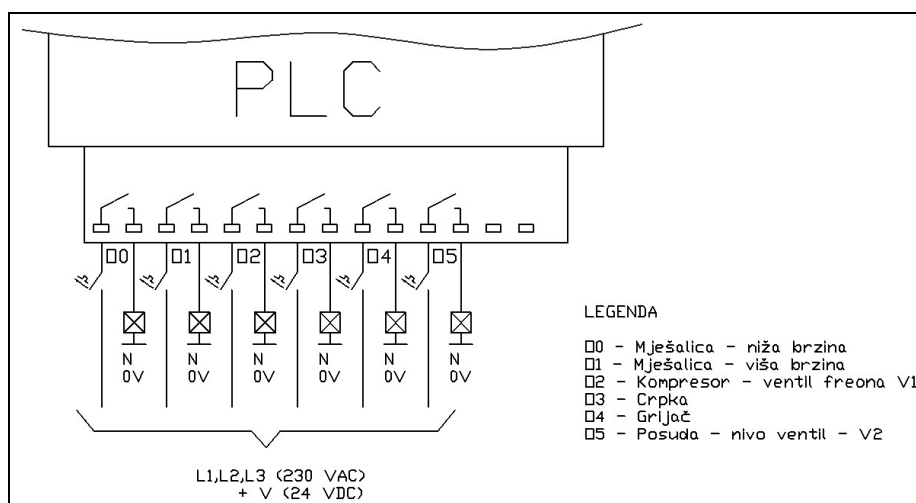
PLC-om je bilo potrebno upravljati sljedećim komponentama na uređaju za pasterizaciju:

1. Pumpom radnog medija (glikola)
2. Kompresorom za rashladni medij
3. Grijačem za zagrijavanje glikola
4. Dvobrzinskom mješalicom smjese u posudi
5. Ventilom za odabir radnog kapaciteta posude

#### Pojašnjenje

- (1.) Pumpa za pogon glikola mora raditi kod grijanja i hlađenja. Radni medij glikol prolazi kroz dvostruki plašt posude i izmijenjuje toplinu tj. grije ili hladi smjesu sladoleda u posudi. Kod hlađenja predaje toplinu preko drugog izmjenjivača freonu, a kod grijanja prima toplinu od grijača koji je ugrađen u krugu glikola.
- (2.) Za hlađenje glikola služi freon u krugu hlađenja koga pogoni kompresor. Freon preuzima toplinu od glikola preko izmjenjivača topline i kroz drugi izmjenjivač predaje toplinu nekom drugom mediju dovedenom izvana. U našem slučaju to je hladna voda. Priključci za hladnu vodu se nalaze na stražnjem dijelu posude (Slika 4.b).
- (3.) Grijač za grijanje posude se nalazi u krugu glikola.
- (4.) Na posudu je s donje strane ugrađen dvobrzinski elektro motor koji pogoni mješalicu. Mješalica služi za mješanje smjese sladoleda u posudi.
- (5.) Ventil za odabir radnog kapaciteta posude blokira prolaz glikola kroz gornju polovicu plašta posude. Omogućuje rad sa pola posude.

Sheme spajanja PLC-a dane su slikama 7. i 9.

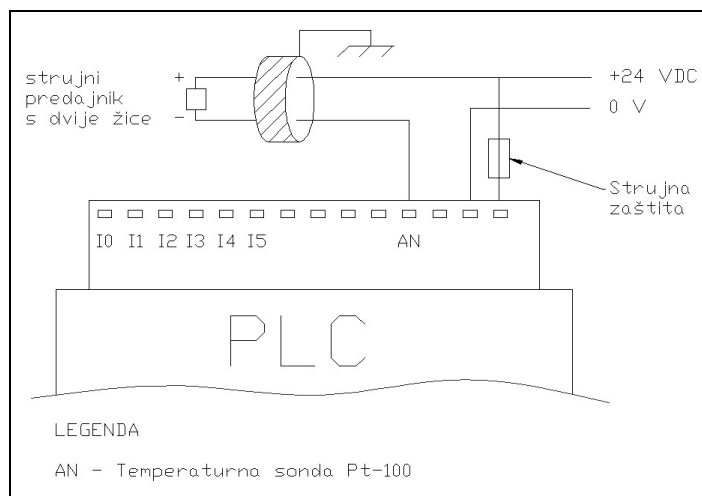


Slika 7: Shema izlaza - PLC

Na posudu je ugrađena temperaturna sonda Pt-100 (Slika 8), mjernog područja od 0-100 °C, izlazne strujne vrijednosti od 4-20 mA. Shema spajanja sonde na PLC je prikazana Slikom 9.



Slika 8: Temperaturna sonda Pt-100



Slika 9: Shema spajanja sonde na PLC



### 3.1. Karakteristike korištenog PLC-a

Odabrani PLC je proizvođača Unitronic iz serije M91 (slika 10). M91 je serija mikro-PLC-a sa ugrađenim operativnim panelom. Operativni panel sadrži LCD ekran sa dva reda teksta od po 16 znakova i tipkovnicu, zatim sadrži ugrađene ulaze/izlaze, uključujući izravni ulaz za mjerenje temperature i mase. Osnovni sustav se može proširiti dodavanjem proširujućih ulazno/izlaznih modula. Ovakva vrsta PLC-a je idealno rješenje za male do srednje velike aplikacije, kao što su tretiranje vode, automatizacija strojeva, upravljanje procesima.



Slika 10.: PLC

Model M91-2-R1 sadrži:

- 10 digitalnih ulaza, uključujući 3 ulaza od kojih svaki može raditi kao brojač velike brzine, frekvencijski mjerač ili kao normalni digitalni ulaz
- 1 analogni ulaz
- 6 relejnih izlaza
- LED HMI ekran sa pozadinskim svjetlom, STN LCD, dva reda teksta s po 16 znakova
- RS232 komunikacijski port za povezivanje sa PC-om
- GSM podršku sa mogućnošću SMS poruka
- 12/24 V istosmjerno napajanje

## 4. Rješenje programskog problema

### 4.1. Opis rada programa

Postoje tri načina rada opisana u narednim paragrafima. Razlikuju se po temperaturi pasterizacije i potrebnom vremenu za pasterizaciju. Dodatno su još ugrađene mogućnosti samostalnog miješanja smjese i čuvanja smjese.

Rješenja programskog problema dana su dijagramima toka za svaki pojedini režim rada.

Dijagram 1. Automatski rad 65 °C, Dijagram 2. Automatski rad 75 °C, Dijagram 3. Automatski rad 85 °C

Za temperaturu od 65 °C je propisano vrijeme pasterizacije od 30 min. Tijek pasterizacije je sljedeći: u posudu se stavi smjesa sladoleda koju je potrebno pasterizirati. Ovisno o količini smjese odredi se da li će se pasterizacija vršiti u cijeloj posudi ili samo u pola posude. Ako se vrši samo u pola posude zatvaranjem ventila za radni medij (glikol) se onemogućiti grijanje i hlađenje cijele posude. Zatim pokrenemo željeni program pasterizacije 65 °C, 75 °C, 85 °C. Pokretanjem pasterizacije pale se pumpa za glikol, grijač, mješalica (prva brzina). Pri 55 °C mješalica se prebacuje u višu brzinu. Pri postignutoj temperaturi pasterizacije, npr. 65 °C, isključuje se grijač i počinje odbrojavanje vremena pasterizacije. Grijač cijelo vrijeme održava temperaturu pasterizacije. Nakon što istekne vrijeme pasterizacije isključuje se grijač i uključuje kompresor. Pasterizacija je izvršena i počinje hlađenje. Nakon pada temperature ispod 55 °C mješalica se prebacuje u nižu brzinu. Pri postignutoj temperaturi od 4 °C uređaj se isključuje i proces je završen. Pumpa za glikol radi kroz cijeli proces, kod grijanja i hlađenja.

Kod preostala dva načina pasteriziranja postupak je isti, osim ciljane temperature i odgovarajućeg vremena pasterizacije.

Kod pasterizacije na 75 °C , vrijeme pasterizacije je 15 min, a kod pasterizacije na 85 °C 10 sec.

Objašnjenje rada samog programa dano je u potpoglavlju 3.2

Nakon završetka programa automatski se uključuje čuvar smjese, tj. mješalica se uključuje svakih 5 min i mješa smjesu 30 sec. Kada temperatura smjese naraste preko 6 °C uključuje se kompresor, pumpa i mješalica. Smjesa se ponovno ohladi na 4 °C.

Način rada „čuvar smjese“, služi kako bi se održavalo zadanu temperaturu smjese do trenutka pražnjenja posude.

Objašnjenje rada samog programa dano je u poglavlju 4.3. *Čuvar smjese* na stranici 18.

Prije pražnjenja smjese ili pranja posude moramo prekinuti mod čuvara smjese. Prekid se vrši ručno na isti način kao i prekid programa.

Postoji još opcije ručnog odabira brzine mješalice.

#### **4.2. Automatski rad na 65 °C, 75 °C i 85 °C**

##### **Automatski rad 65 °C**

Prikazano dijagramom 1. Automatski rad 65 °C

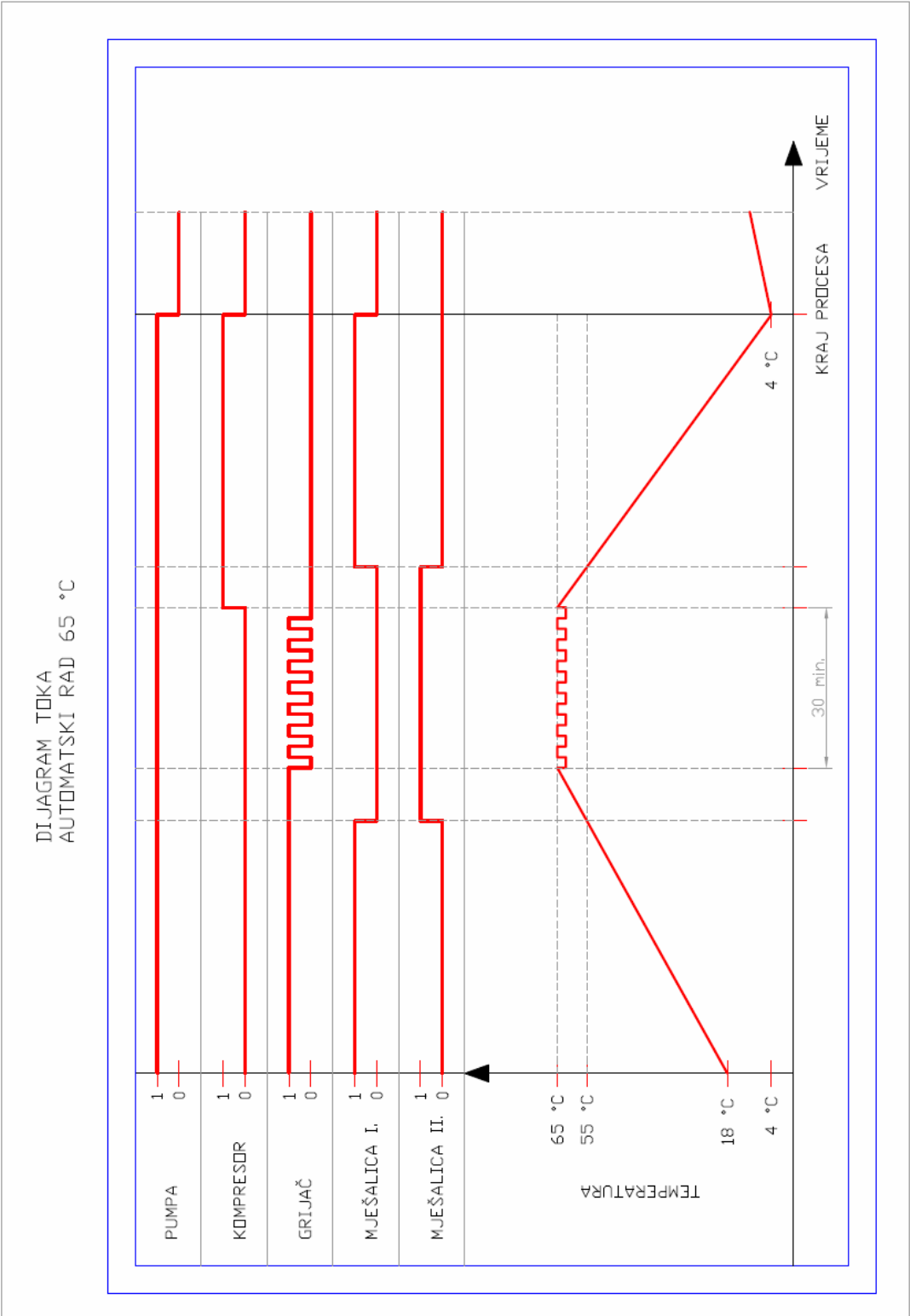
Pokretanjem programa pale se pumpa za glikol, grijač i mješalica smjese sladoleda u nižoj brzini. Započinje proces grijanja smjese. Grijač zagrijava glikol koji struji u dvostrukom plaštu posude na 90 °C. Pumpa pokreće glikol kroz dvostruki plašt kroz koji se izmjenjuje toplina između glikola i smjese u posudi. Kako bi se povećao intenzitet izmjene topline u posudi radi mješalica za smjesu i potiče bolju izmjenu topline. Do temperature smjese u posudi od 55 °C mješalica radi u nižoj brzini. Kad temperatura prijeđe 55 °C mješalica se prebacuje u višu brzinu. Pri višoj temperaturi smjesa se miješa intenzivnije kako bi se postiglo bolje odvođenje topline, kako bi smjesa bila bolje „progrijana“, tj. da nema veće temperaturne razlike unutar smjese. Ovo je bitno da dobijemo što točnije očitavanje na senzoru temperature i kako ne bi došlo do eventualnog pregrijavanja smjese na stijenci posude. Kod ovog načina rada smjesu grijemo do 65 °C i održavamo na toj temperaturi 30 minuta. Kako bi se izbjeglo stalno uključivanje i isključivanje grijača u program je ugrađena temperaturna histereza, tj. grijač grije smjesu do 68 °C, tada se isključi i onemogućeno mu je uključivanje do pada temperature ispod 64,5 °C.

Kad tajmer odbroji 30 minuta nakon dostignute ciljane temperature, završio je proces pasterizacije. Završetkom procesa pasterizacije isključuje se grijač. Nakon završetka procesa pasterizacije u slučaju da nestane električne energije, ponovnim dolaskom električne energije dok je aktivan proces više se ne može uključiti grijač, već samo hlađenje, tj. kompresor. Padom temperature ispod 55 °C mješalica se prebacuje u nižu brzinu. Proces završava postizanjem temperature od 4 °C.

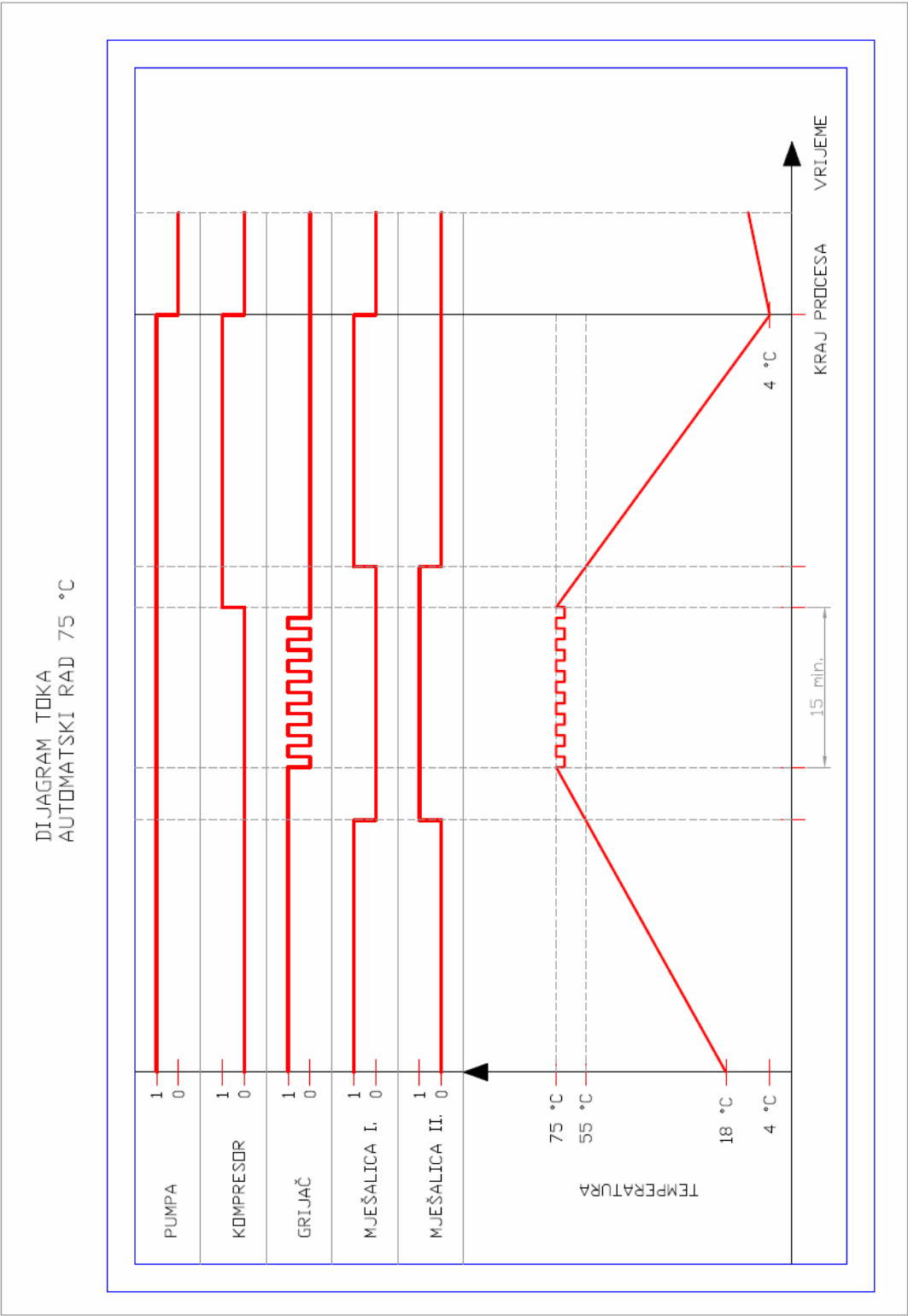
Kod preostala dva načina pasteriziranja sve je isto, osim vremena pasterizacije. Kod pasterizacije na 75 °C, vrijeme pasterizacije je 15 min, a kod pasterizacije na 85 °C 10 sec.

Prikazano dijagramima 2. Automatski rad 75 °C, 3. Automatski rad 85 °C

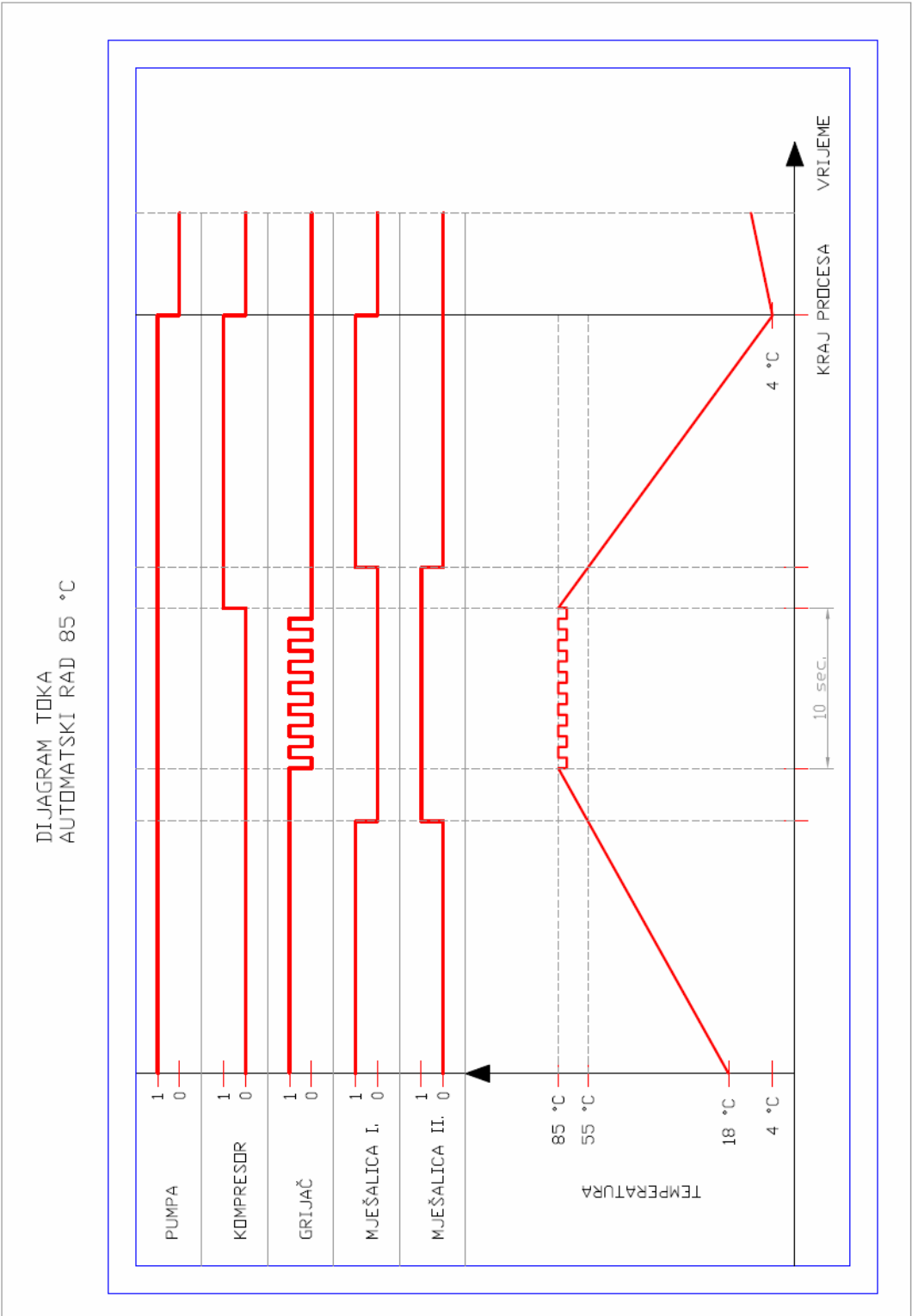
Dijagram 1. Automatski rad 65 °C



Dijagram 2. Automatski rad 75 °C



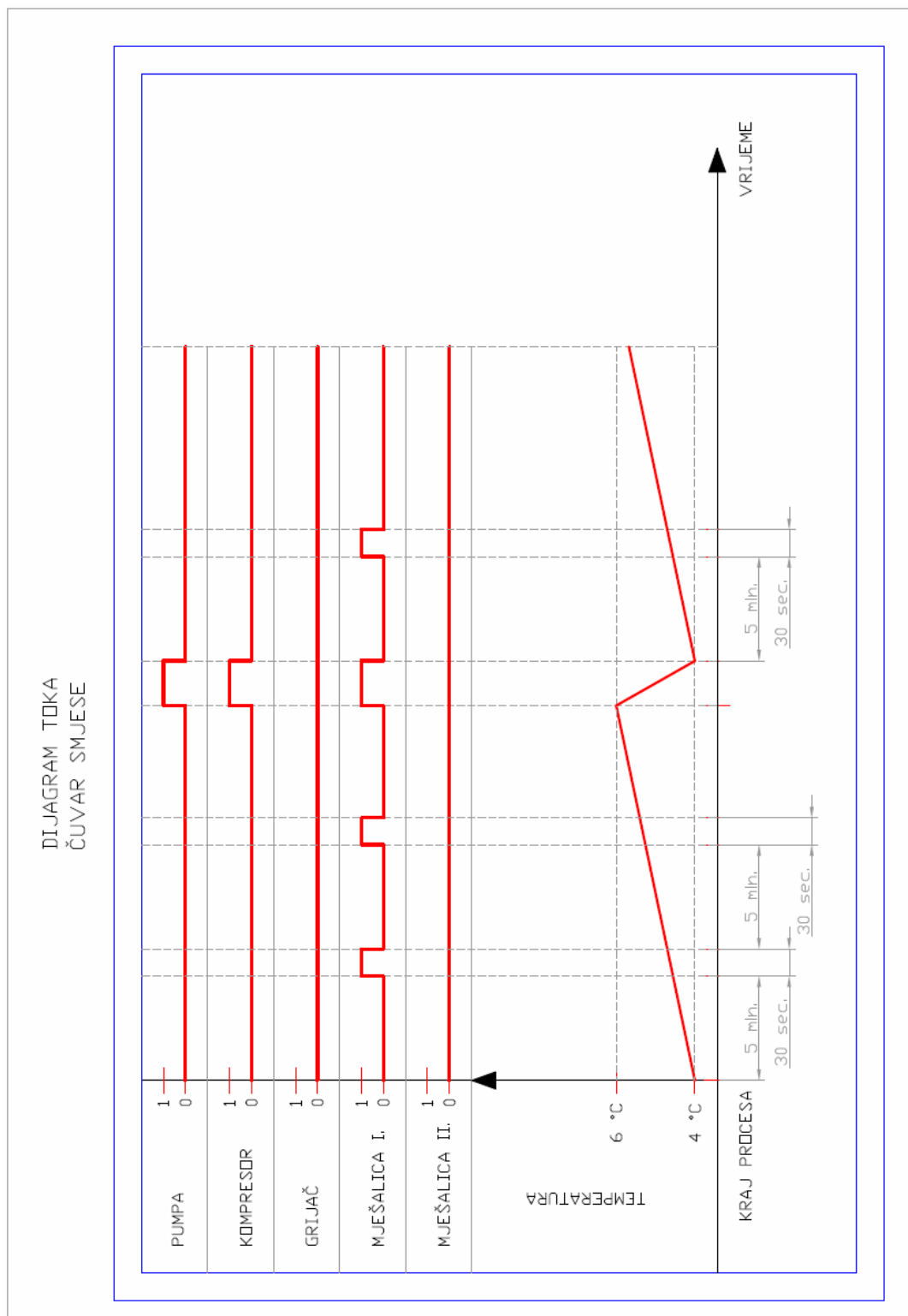
Dijagram 3. Automatski rad 85 °C



#### 4.3. Čuvar smjese

Kako ne bi došlo do kvarenja ili gubitka kvalitete smjese nakon procesa pasterizacije do trenutka pražnjenja posude smjesu je potrebno držati do maksimalne temperature od +6 °C i povremeno promiješati. U trenutku aktivacije čuvara smjese svi su izlazi u stanju mirovanja i tajmer počinje odbrojavati vrijeme od 5 minuta. Po isteku tog vremena uključuje se mješalica u nižoj brzini i miješa smjesu 30 sekundi. Ovo se ponavlja periodički. Kad naraste temperatura smjese iznad +6 °C pale se kompresor, pumpa i mješalica. Nakon završetka hlađenja, tj. pada temperature ispod +4 °C ponovo se počinje odbrojavati 5 minuta do uključivanja mješalice. Ovaj mod rada prekida operater prilikom pražnjenja smjese iz posude. Kako bi se izbjeglo ozljeđivanje operatera prilikom manipulacije smjesom uslijed pražnjenja, bila je predviđena ugradnja senzora na poklopac posude koji bi isključio mješalicu prilikom podizanja poklopca. Ovo nije realizirano zbog nedostatka vremena. Bilo je predviđeno vraćanje uređaja i dorada. Izrazito je neugodno ukoliko se krene s pranjem, dok je aktivan mod čuvanja smjese jer ako je temperatura na senzoru ispod +6 °C mješalica miruje, no ulijevanjem vode za pranje senzor očita temperaturu preko +6 °C i automatski uključuje mješalicu. Operateri su upoznati s ovim nedostatkom i postavljena je rastavljiva zaštitna rešetka oko propelera mješalice. Tijek procesa je prikazan dijagramom 4. Čuvar smjese.

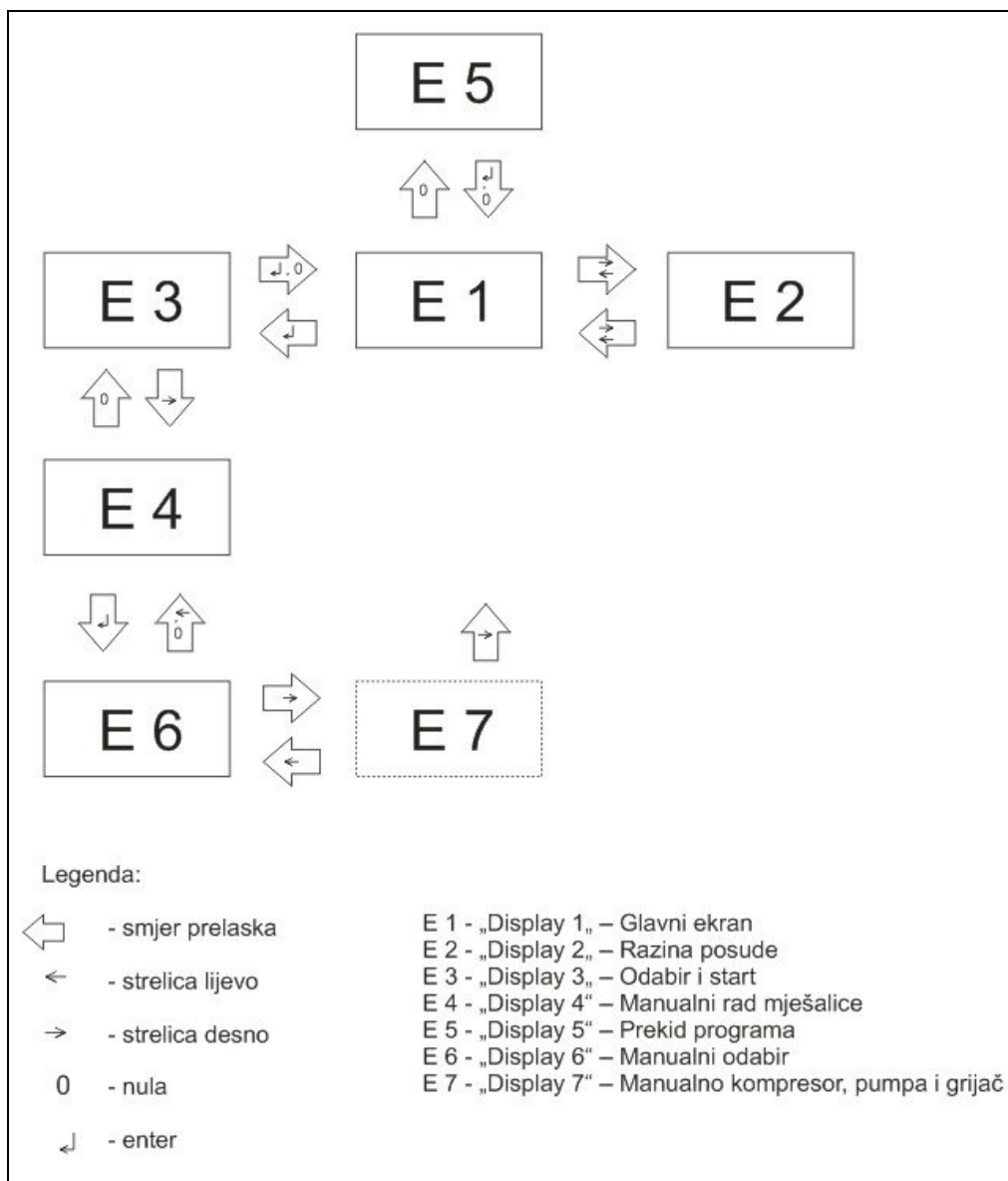
Dijagram 4. Čuvar smjese





#### 4.4. Korisničko sučelje

PLC posjeduje tipkovnicu i ekran za interakciju operatera i uređaja. Operateru je potrebno što jednostavnije upravljanje procesom putem tipkovnice, kao i prikaz svih bitnijih parametara za proces na ekranu. Također programer mora dati operateru upute za korištenje kako bi znao sve mogućnosti i način upravljanja procesom. Upravljanje procesom putem tipkovnice treba biti jednostavno i brzo. Ujedno treba spriječiti da se nehotičnim dodirima tipkovnice pokrene ili isključi proces. Ovaj problem je riješen tako da je onemogućen bilo kakav utjecaj na proces dok je aktivan glavni ekran.

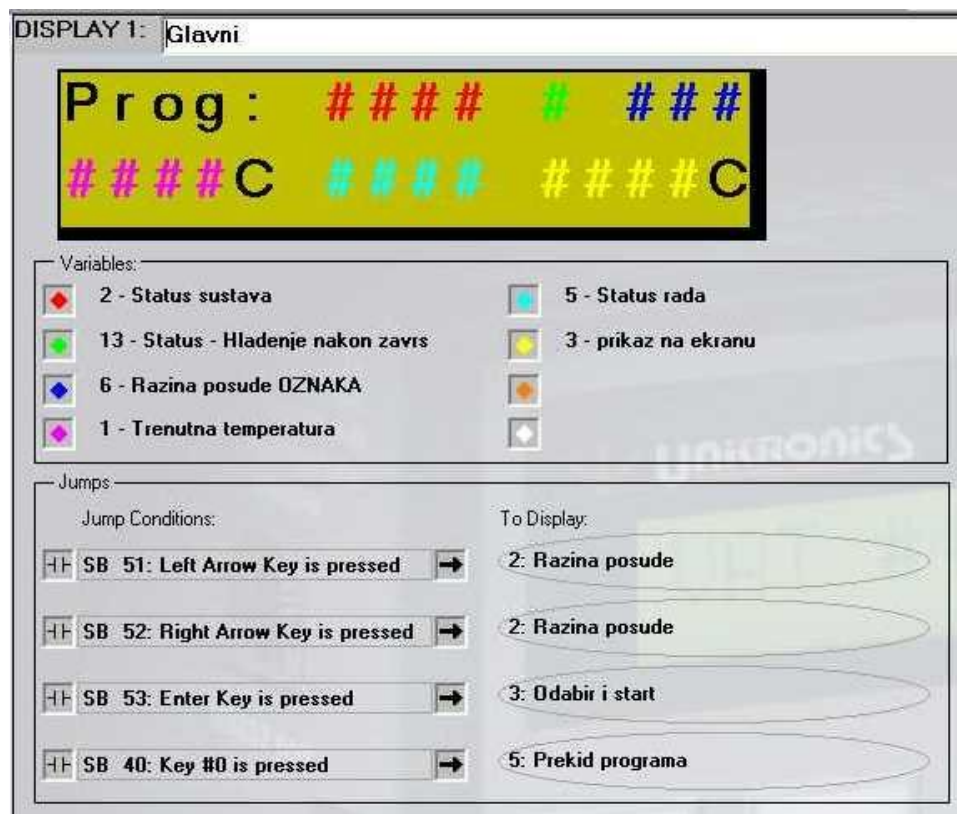


Slika 11.: Prikaz kretanja kroz ekrane

Stavljanjem PLC pod napon na ekranu se postavlja „Display 1“ – Glavni ekran.

#### 4.4.1. „Display 1“ – Glavni ekran

Ovo je glavni ekran i pomoću njega pratimo status uređaja i tok procesa. Ovdje se pokušalo prikazati stanje većeg broja varijabli koje su nam bitne tokom procesa. To je bitno kako bi operater imao što bolji uvid u proces. Kako se pretpostavlja da će ovaj ekran biti aktivan glavninu vremena u radu stroja, onemogućeno je da se nenamjernim dodirnom neke od tipaka utječe na tijek procesa. Pomoću ovog ekrana se samo nadzire proces i prelazi na druge ekrane sa kojih se utječe na rad uređaja.



Slika 12.: „Display 1“ – Glavni ekran

#### Varijable

Na ekranu se prikazuju varijable: (2) status sustava, (13) status – hlađenje nakon završetka, (6) razina posude, (1) trenutna temperatura, (5) status rada, (3) prikaz na ekranu.

*Varijabla (2) – status sustava:* daje informaciju o tome koji je režim rada aktivan. Može biti: OFF (isključeno), A65C, A75C, A85C.

*Varijabla (13) – status – hlađenje nakon završetka:* daje informaciju je li je aktivan mod rada „čuvar smjese“. Ako je aktivan na ekranu se prikazuje (1), ako je isključen prikazuje se (0).

*Varijabla (6) – razina posude OZNAKA:* daje informaciju o tome da li radi s pola posude (0.5) ili cijelom posudom (1.0).

*Varijabla (1) – trenutna temperatura:* prikazuje očitanu vrijednost temperature sa temperature sonde.

*Varijabla (5) – status rada:* daje informaciju o tome koji se dio procesa odvija: isključeno (OFF), grijanje (HEAT), hlađenje (COOL).

*Varijabla (3) – prikaz na ekran:* ovisno o odabiru moda rada prikazuju se vrijednosti temperature koju je potrebno dostići.

### **Rad sa tipkovnicom**

Pritiskom tipke „lijeva strelica“ ili „desna strelica“ prelazimo na „Display 2“ – Razina posude.

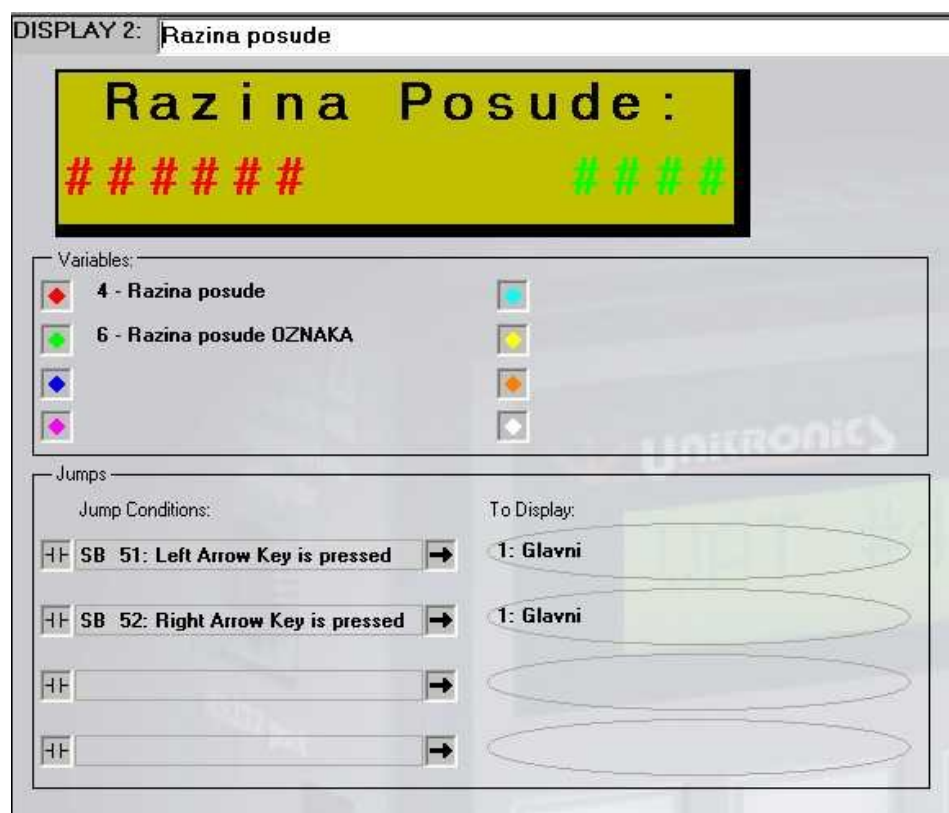
Pritiskom tipke „enter“ prelazimo na „Display 3“ – Odabir i start.

Pritiskom tipke „0“ prelazimo na „Display 5“ – Prekid programa.

#### **4.4.2. „Display 2“ – Razina posude**

Ovaj ekran služi za odabir razine radnog dijela posude. Ovdje se odabire da li će se raditi sa pola posude ili cijelom. Ovo nam je bitno ukoliko nemamo dovoljno smjese. Kod grijanja plašta na dijelu gdje nema smjese može doći da zagaranja i shodno tome do gubitka kvalitete tretirane smjese. Odavde upravljamo ventilom za glikol koji struji u dvostrukom plaštu posude. Zatvaranjem ventila onemogućavamo strujanje glikola u gornjoj polovici posude.

Prikaz logičkog rješenja dan je u prilogu 1 – Stepeničasti dijagram: linija 19.



Slika 13.: „Display 2“ – Razina posude

**Variable**

Na ekranu se prikazuju varijable: (4) razina posude, (6) razina posude oznaka.

*Varijabla (4) – razina posude:* daje informaciju o odabranoj razini posude za cijelu se ispisiše tekst (CIJELA), a za pola se ispisiše tekst (POLA).

*Varijabla (6) – razina posude OZNAKA:* daje informaciju o tome radi li se s pola posude (0.5) ili cijelom posudom (1.0).

**Rad sa tipkovnicom**

Pritiskom tipke „enter“ odabiremo pola radnog kapaciteta posude.

Pritiskom tipke „0“ odabiremo cijeli radni kapacitet posude.

Pritiskom tipke „lijeva strelica“ ili „desna strelica“ prelazimo natrag na „Display 1“ – Glavni ekran.

**4.4.3. „Display 3“ – Odabir i start**

Ovaj ekran služi za pokretanje i odabir željenog režima rada. Pritiskom na tipku „enter“ pokrećemo režim rada pasterizacije na 65°C, ponovnim pritiskom tipke „enter“ prebacujemo na režim rada pasterizacije na 75°C, ponovnim pritiskom tipke „enter“ prebacujemo na režim rada pasterizacije na 85°C, sljedećim pritiskom tipke „enter“ vraćamo uređaj u mirovanje.

Prikaz logičkog rješenja dan je u prilogu 1 – Stepeničasti dijagram: linija 4.



Slika 14.: „Display 3“ – Odabir i start

**Variable**

Na ekranu se prikazuje varijabla (2) status sustava.

*Varijabla (2) – status sustava:* daje informaciju o tome koji je režim rada aktivan. Može biti: OFF (isključeno), A65C, A75C, A85C.

**Rad sa tipkovnicom**

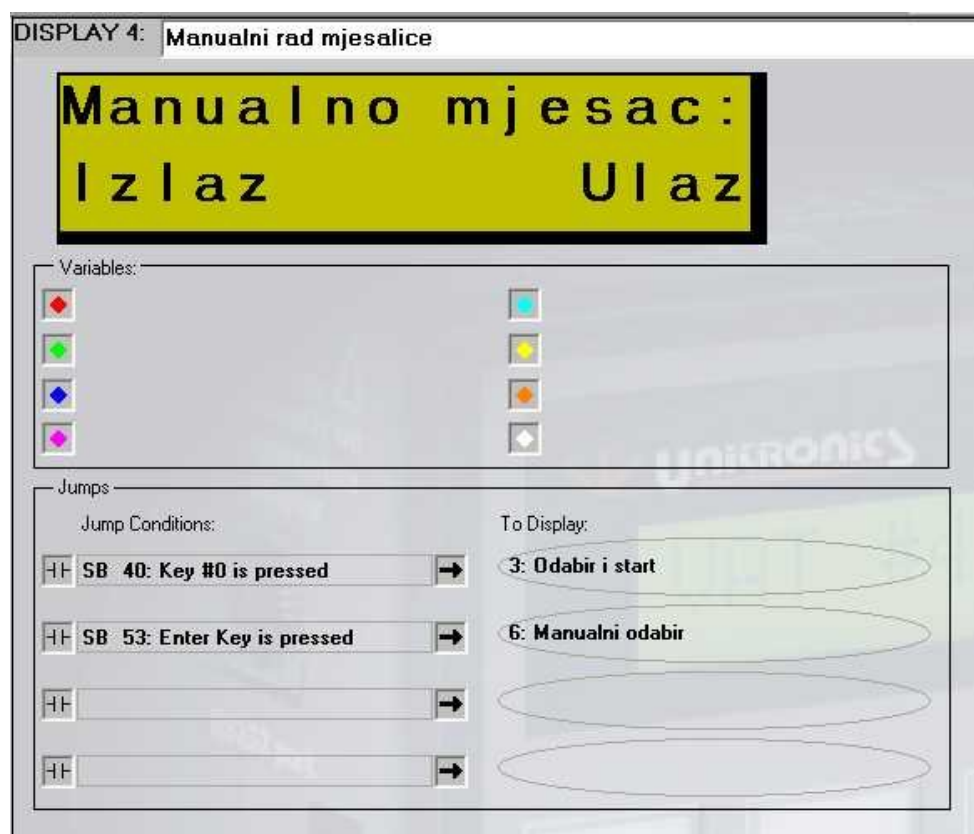
Pritiskom tipke „enter“ mijenjamo režim rada: A65C – Pasterizacija na 65°C, A75C – Pasterizacija na 75°C., A85C – Pasterizacija na 85°C, OFF - isključeno.

Pritiskom tipke „0“ prelazimo na „Display 1“ – Glavni ekran.

Pritiskom tipke „desna strelica“ prelazimo na „Display 4“ – Manualni rad mješalice.

**4.4.4. „Display 4“ – Manualni rad mješalice**

Ovaj ekran služi kao predekran za manualni rad mješalicom. Kako je ovo jedna od naprednijih mogućnosti ovog uređaja ovaj ekran ima svrhu obavijestiti operatera da ulazi u područje gdje je dana mogućnost ručnog upravljanja mješalicom.



Slika 15.: „Display 4“ – Manualni rad mješalice

**Rad sa tipkovnicom**

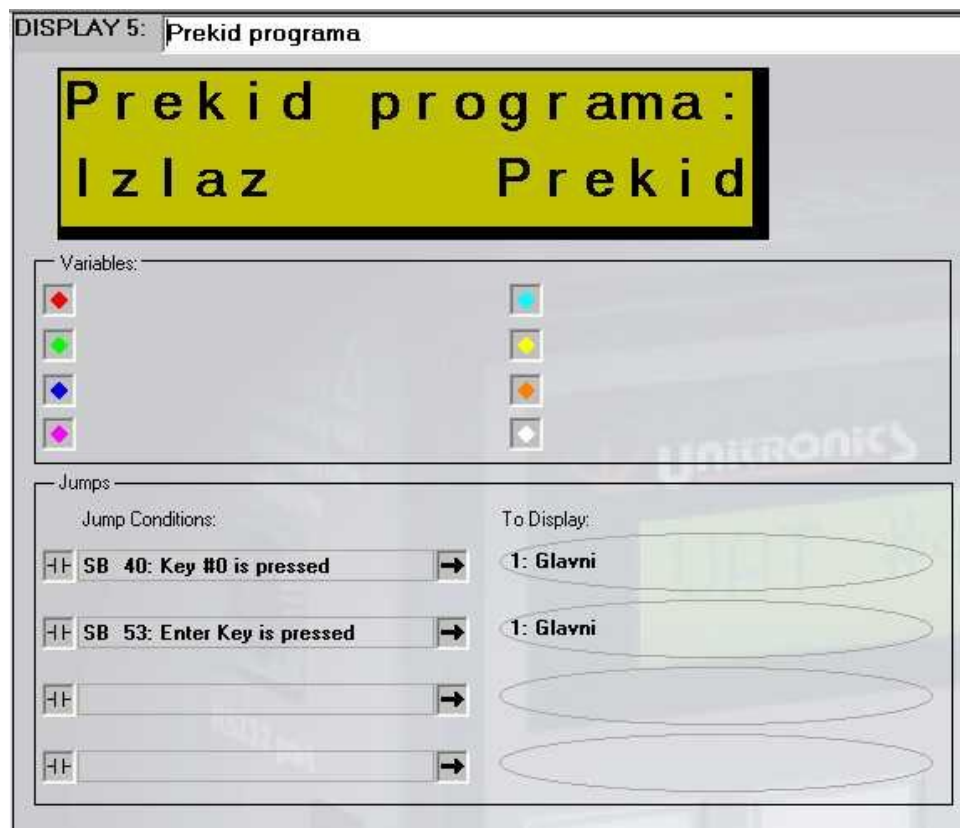
Pritiskom tipke „enter“ prelazimo na „Display 6“ – Manualni odabir.

Pritiskom tipke „0“ prelazimo na „Display 3“ – Odabir i start.

#### 4.4.5. „Display 5“ – Prekid programa

Ovom ekranu se pristupa s „Display 1“ – Glavnog ekrana. Dolaskom na ovaj ekran i pritiskom tipke „enter“ prekidamo bilo koji mod rada i stavljamo uređaj u mirovanje. Pritiskom na tipku „enter“ automatski se vraćamo na „Display 1“ – Glavni ekran.

Prikaz logičkog rješenja dan je u prilogu 1 – Stepeničasti dijagram: linija 28, 32, 34.



Slika 16.: „Display 5“ – Prekid programa

#### Rad sa tipkovnicom

Pritiskom tipke „enter“ prekidamo rad programa (bilo koji mod rada), tj. postavljamo početne vrijednosti i prelazimo na „Display 1“ – Glavni ekran. Pritiskom tipke „0“ prelazimo na „Display 1“ – Glavni ekran.

#### 4.4.6. „Display 6“ – Manualni odabir

Kada je aktivan ovaj ekran dana je mogućnost ručnog upravljanja mješalicom. Ukoliko postoji potreba za promjenom brzine vrtnje mješalice tokom odvijanja procesa operateru je to ovdje dopušteno. Čak i ukoliko je proces u modu mirovanja, odavde se može neovisno upravljati mješalicom. Na ekranu su prikazane informacije o temperaturi u posudi, u kojem je modu rada proces, u kojem je modu rada mješalica ručno ili automatski, trenutna brzina vrtnje mješalice 1, 2 ili ( ) (ako miruje). Izlaskom iz ovog ekrana, mješalica se vraća u automatski mod rada.

Prikaz logičkog rješenja dan je u prilogu 1 – Stepeničasti dijagram: linija 21, 22.





Slika 17.: „Display 6“ – Manualni odabir

### Variable

Na ekranu se prikazuju varijable: (10) manual ili automat, (8) brzina 2, (9) brzina 1, (1) trenutna temperatura, (2) status sustava.

*Varijabla (10) – manual ili automat:* pokazuje status rada mješalice. Automatski (A) ili manualno (M).

*Varijabla (8)- brzina 2:* pokazuje kod manualnog rada mješalice status brzine 2. Kada je aktivna (2), a kada nije (\_).

*Varijabla (9)- brzina 1:* pokazuje kod manualnog rada mješalice status brzine 1. Kada je aktivna (1), a kada nije (\_).

*Varijabla (1) – trenutna temperatura:* prikazuje očitanu vrijednost temperature sa temperature sonde.

*Varijabla (2) – status sustava:* daje informaciju o tome koji je režim rada aktivan. Može biti: OFF (isključeno), A65C, A75C, A85C.

### Rad sa tipkovnicom

Pritiskom tipke „1“ aktiviramo manualni rad mješalice brzinom 1.

Pritiskom tipke „2“ aktiviramo manualni rad mješalice brzinom 2.

Pritiskom tipke „9“ ili „0“ vraćamo mješalicu u automatski mod rada.

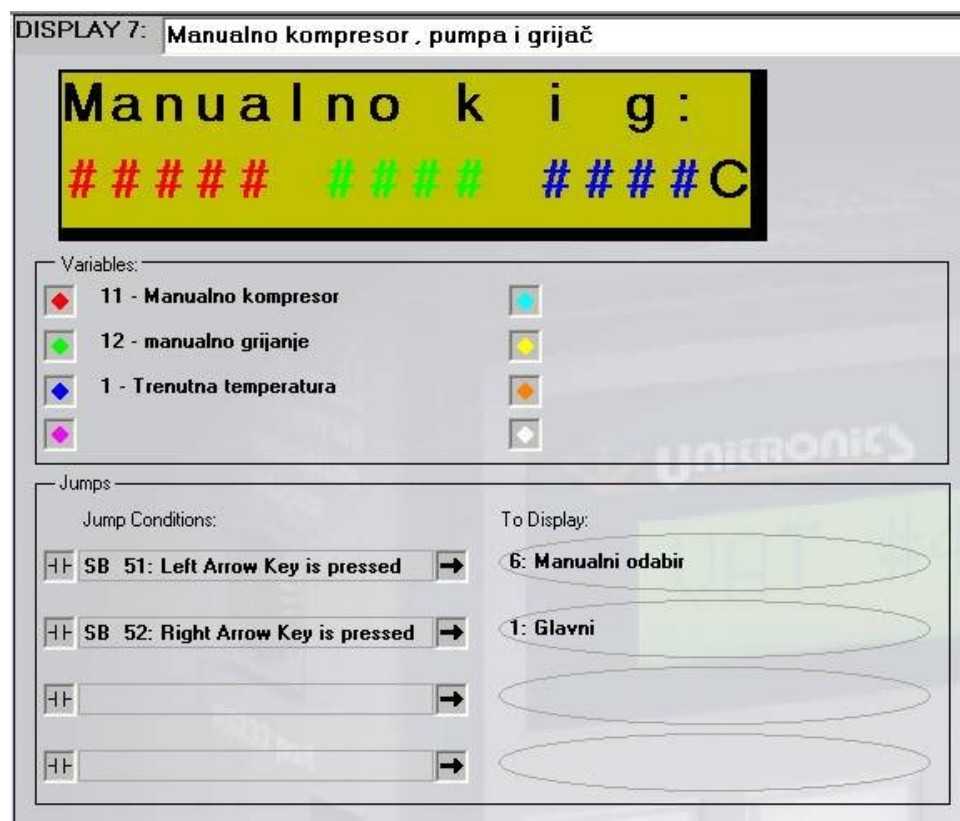
Pritiskom tipke „0“ ili „lijeva strelica“ prelazimo na „Display 4“ – Manualni rad mješalice.

#### 4.4.7. „Display 7“ – Manualno kompresor, pumpa i grijač

Kada je aktiviran ovaj ekran imamo mogućnost samostalnog pokretanja kompresora i pumpe, tj. hlađenja posude ili grijača i pumpe tj. grijanja posude.

Ovdje je maksimalna temperatura grijanja postavljena na vrijednost  $+85^{\circ}\text{C}$ , a minimalna nije zadana, tj. postavljen je uvjet koji ne blokira rad. Ovo je učinjeno da se može izvršiti ispitivanje ugrađene opreme. Testira se sustav grijanja, hlađenja i ponašanje ispitnog medija (vode) u posudi približavanjem maksimalnim i minimalnim zadanim vrijednostima u procesu. Sigurnosni ventil u krugu grijanja je podešen da odradi na  $+95^{\circ}\text{C}$ . Pokazalo se da je pri višoj brzini mješalice dobro odvođenje topline i da nema opasnosti od pregrijavanja radnog medija (glikola), pri postizanju maksimalne zadane temperature od  $+85^{\circ}\text{C}$ . Kod hlađenja je utvrđeno da ne postoji opasnost stvaranja leda na stijenci posude do temperature od  $0^{\circ}\text{C}$ . S obzirom na to nema opasnosti od loma mješalice do minimalne temperature u procesu od  $+4^{\circ}\text{C}$ .

Prikaz logičkog rješenja dan je u prilogu 1 – Stepeničasti dijagram: linija 23.



Slika 18.: „Display 7“ – Manualno kompresor, pumpa i grijač

- Ovaj dio je predviđen za servisera i montera, koristi se tokom ispitivanja funkcionalnosti uređaja i pojedinih komponenata.
- Trenutno je onemogućen pristup ovom ekranu. Do ovog ekrana se dolazilo pritiskom tipke „lijeva strelica“ dok je aktivan „Display 6“. Ova je veza uklonjena kako se ne bi dogodile neželjene posljedice.



**Variable**

Na ekranu se prikazuju varijable: (11) manualno kompresor, (12) manualno grijanje, (1) trenutna temperatura.

*Varijabla (11) – manualno kompresor:* Prikazuje na ekranu status manualnog rada kompresora. Kada je isključen (Isklj.), a kada je uključen (Uklj.).

*Varijabla (12) – manualno grijanje:* Prikazuje na ekranu status manualnog rada grijača. Kada je isključen (Isklj.), a kada je uključen (Uklj.).

*Varijabla (1) – trenutna temperatura:* prikazuje očitane linearizirane vrijednosti temperature sa temperaturne sonde.

**Rad sa tipkovnicom**

Pritiskom tipke „1“ aktiviramo manualni rad kompresora i pumpe.

Pritiskom tipke „2“ prekidamo manualni rad kompresora i pumpe ili grijača i pumpe.

Pritiskom tipke „4“ aktiviramo manualni rad grijača i pumpe.

Pritiskom tipke „lijeva strelica“ prelazimo na „Display 6“ – Manualni odabir.

Pritiskom tipke „desna strelica“ prelazimo na „Display 1“ – Glavni ekran.

## 5. Iskustva s primjenom projektiranog uređaja

Ovaj uređaja je izrađen kao prototip za možebitnu buduću serijsku proizvodnju. Kao podloga za izradu uređaja poslužio je jedan uređaj talijanskog proizvođača. Glavne zamjerke talijanskom uređaju bile su: previsoka cijena, predugo vrijeme pasterizacije (preko 2 sata na 85°C), nemogućnost promjene nekih parametara, nepostojanje mogućnosti samostalnog rada mješalice, problemi pri nestanku električne energije, i sl.

Investitor je želio da se izradi brži i bolji uređaj koji bi bio ekonomski isplativiji. Da bi se zadovoljili tehnički zahtjevi, od kojih je najbitnija brzina izvođenja procesa, odabran je jači grijač snage 5 kW (izvorni je imao snagu od 3 kW). Sa jačom snagom dobiveno je kraće trajanje procesa koje je kod ispitivanja vodom iznosilo oko 60 min za proces do 85 °C. Zatim je postojala je bojazan da bi zbog intenzivnijeg grijanja mogla postati upitna kvaliteta smjese ili da bi moglo doći do zagaranja na stijenci posude. U radu se pokazalo da je dobivena smjesa čak bolje kvalitete od one dobivene na izvornom uređaju (bolje je progrijana tokom procesa), a problema sa zagaranjem nije bilo. Također je bilo upitno kako će se ponašati smjesa koja ostane duže u posudi pod „čuvarom smjese“. Naime, postojala je mogućnost razdvajanja komponenata u smjesi i izdvajanja vode. Ovo se pokušalo izbjeći uključivanjem mješalice koja je imala zadaću zadržati smjesu što homogenijom do trenutka pražnjenja. Odabrani intervali uključivanja i trajanja miješanja su se u radu pokazali zadovoljavajućima i nije bilo potrebe za promjenom parametara. Veći uočeni nedostatak u radu je bio pri nestanku električne energije. Ukoliko je bio aktivan neki od procesa, program na PLC-u bi izgubio podatak gdje se proces trenutno nalazi i zauzeo bi početne vrijednosti, tj. stao bi s radom. Ovo je bilo izrazito nezgodno kod čuvanja smjese, jer je postojala mogućnost da dođe do kvarenja smjese. Uređaj je bio vraćen na doradu programa, ispitan i vraćen u rad nakon uklanjanja nedostataka.

Neke od važnijih stvari koje nisu realizirane na ovom uređaju, a bile su predviđene, su mogućnost prevrtanja gornjeg dijela uređaja, tj. posude na jednu stranu zbog lakšeg pristupa opremi tokom servisiranja i druga stvar su sigurnosne zaštite. Na uređaj nije ugrađena sigurnosna sklopka „gljiva“ za brzi prekid napona u slučaju nužde i nije ugrađena blokada koja je bila predviđena u slučaju podizanja posude. Ovo nije realizirano zbog nedostatka vremena. Bilo je predviđeno vraćanje uređaja i dorada. Postojala je opasnost od ozljeđivanja ukoliko ostane aktivan „čuvar smjese“ i posuda se otvori zbog pranja jer bi se iznad +6 °C uključila mješalice. Operateri su pravodobno obavješteni o tome i do sad nije bilo problema.

Ovaj uređaj je od strane investitora i operatera koji su na njemu radili dobio vrlo dobre ocjene. Okarakteriziran je kao puno brži od izvornog uređaja i kao glavne prednosti navedene su funkcija samostalnog ručnog rada mješalice, te jednostavno i pristupačno korisničko sučelje.

## 6. Zaključak

U ovom radu je dano rješenje zadanog programskog problema za uređaj za pasterizaciju sladoleda. Također je prikazan i opisan uređaj kojim treba upravljati. S obzirom da uređaj mora biti mobilan i da je zahtjev da bude što manjih dimenzija, za ovaj uređaj se kompaktan PLC pokazao kao idealan uređaj za upravljanje. Odabrani PLC opisan u potpoglavlju 2.1 se pokazao kao dobar odabir. Također je bilo potrebno uz sam program izraditi i korisničko sučelje za upravljanje uređajem. Izrađeno korisničko sučelje je prikazano u potpoglavlju 4.4. Kod sučelja je bitno da operateru omogući pregledno, brzo i jednostavno upravljanje i nadzor uređaja. U radu se ovo sučelje pokazalo dobrim rješenjem jer se brzo pristupa željenim komandama, a prelazak između pojedinih ekrana je krajnje jednostavan i lako se pamti.

Samo programsko rješenje je izrađeno u stepeničastom (eng. ladder) dijagramu, prikazanom u prilogu 1.1.

Za izradu programskog rješenja kao podloga su poslužili dijagrami toka opisani u potpoglavlju 4.2 i 4.3 koji zorno predočuju tijek procesa.

Praktičnim ispitivanjem u radu utvrđeno je da program ispravno radi i da su zadovoljeni zadani zahtjevi. Jedan od bitnijih zahtjeva je ograničeno trajanje procesa. Dobiveno je trajanje cijelog procesa pasterizacije pri najvišem temperaturnom režimu (od 85 °C) zajedno sa ohlađivanjem smjese do 4 °C u vremenu od oko 60 min, što je zadovoljavajuće. Također, izmjereno je vrijeme od oko 60 min, koje je potrebno da nakon ohlađivanja na 4 °C postigne temperaturu od 6 °C, kad se uključi kompresor za hlađenje u toku rada „čuvanja smjese“, što je također zadovoljavajuće.

Kompletan uređaj se nalazi u pogonu već nešto više od dvije godine i dosad nije bilo prigovora na njegov rad. Investitor je posebno zadovoljan brzinom rada, koja je znatno bolja u odnosu na sličan uređaj koji je prije bio korišten. Također su pohvaljene programske mogućnosti koje su bile zadane od investitora.

## **Prilog A.**

<b>sadržaj</b>	<b>strana</b>
Prilog A.1. - Stepeničasti dijagram	33
Prilog A.2. – Inicijalne vrijednosti	49
Prilog A.3. – Varijable	50
Prilog A.4. – Korišteni simboli	54

**Prilog A.1. - Stepeničasti dijagram**

Prikazan je izvedeni program u stepeničastom (engl. ladder) dijagramu.  
Radi lakšeg praćenja programa dana je tablica u kojoj je opisana svaka linija.

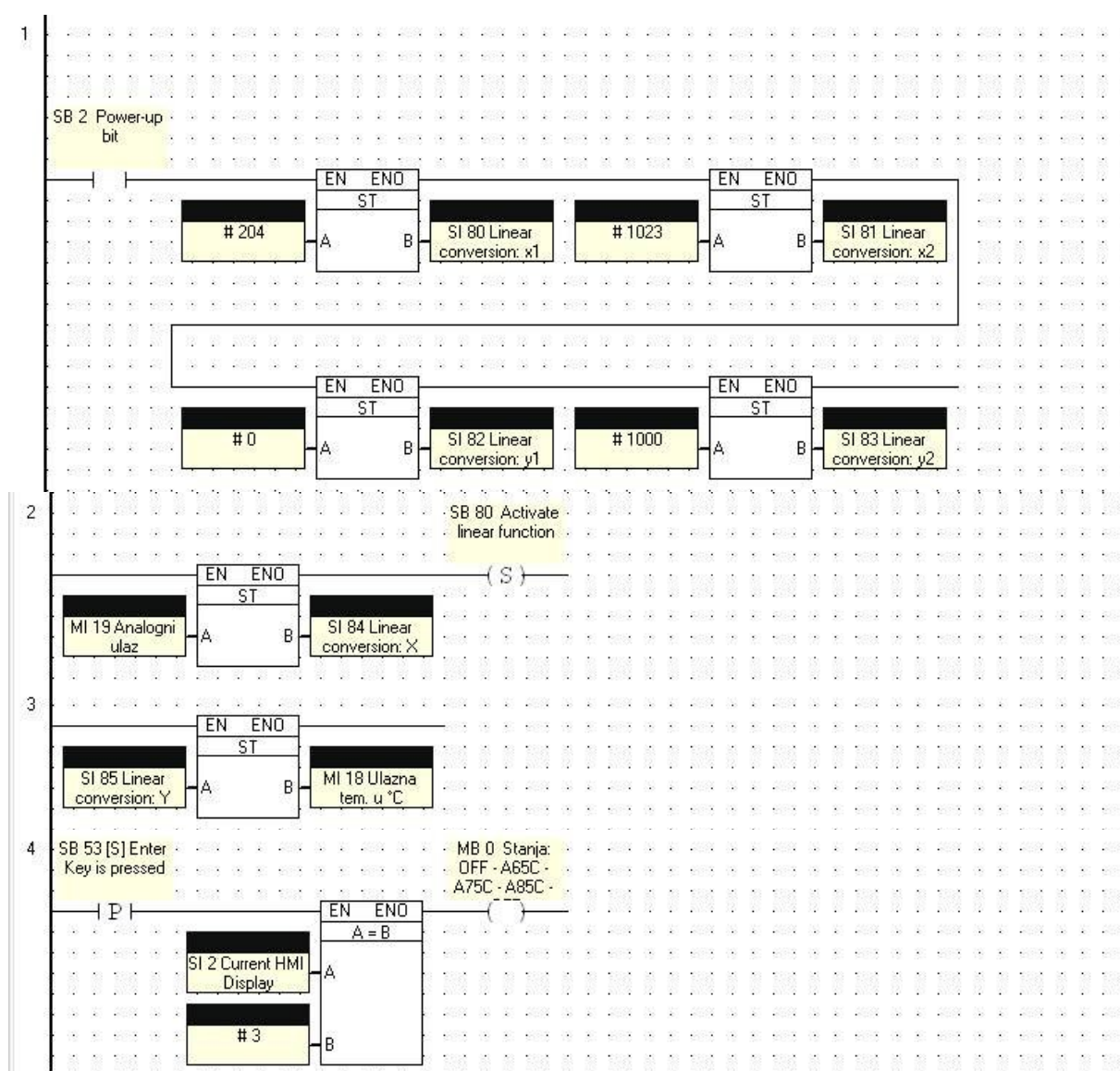
Tablica – opis linija dijagrama

Broj linije	Opis	Napomena
1.	Uključivanjem PLC-a postavljamo parametre za linearizaciju senzora temperature.	Linearizaciju je potrebno provesti kako bi ulazni strujni signal pretvorili u proporcionalnu temperaturnu vrijednost.
2.	Analogni signal sa temperaturne sonde pohranjujemo kao ulaznu vrijednost koja se linearizira	Linearizacija se provodi pomoću varijable 1. Varijable podržavaju opciju linearizacije .
3.	Dobivenu vrijednost nakon linearizacije pohranjujemo kao cijeli broj.	
4.	Pritiskom tipke ENTER dok je aktivan ekran 3 dajemo kratak impuls.	Ovim načinom odabiremo između raznih načina rada pomoću jedne tipke.
5.	Impulsom iz prethodne linije 4 postavljamo (ovisno o željenom načinu pasterizacije) temperaturnu vrijednost do koje se vrši pasterizacija.	
6. 7. 8.	Postavljamo brojku za liniju i aktiviramo način rada na 65 °C kako bi ponovnim impulsom iz linije 3 aktivirali sljedeći način rada.	Zadajemo vrijednost koja se ispisuje na ekran. Ovakvom logikom jednim impulsom istom tipkom biramo između različitih načina rada.
9.	Postavljamo početne parametre na uređaju.	
10.	Dio logičkog rješenja za pumpu, mješalicu u nižoj i višoj brzini, grijač i kompresor za odabranu pasterizaciju pri 65 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 6. liniji.

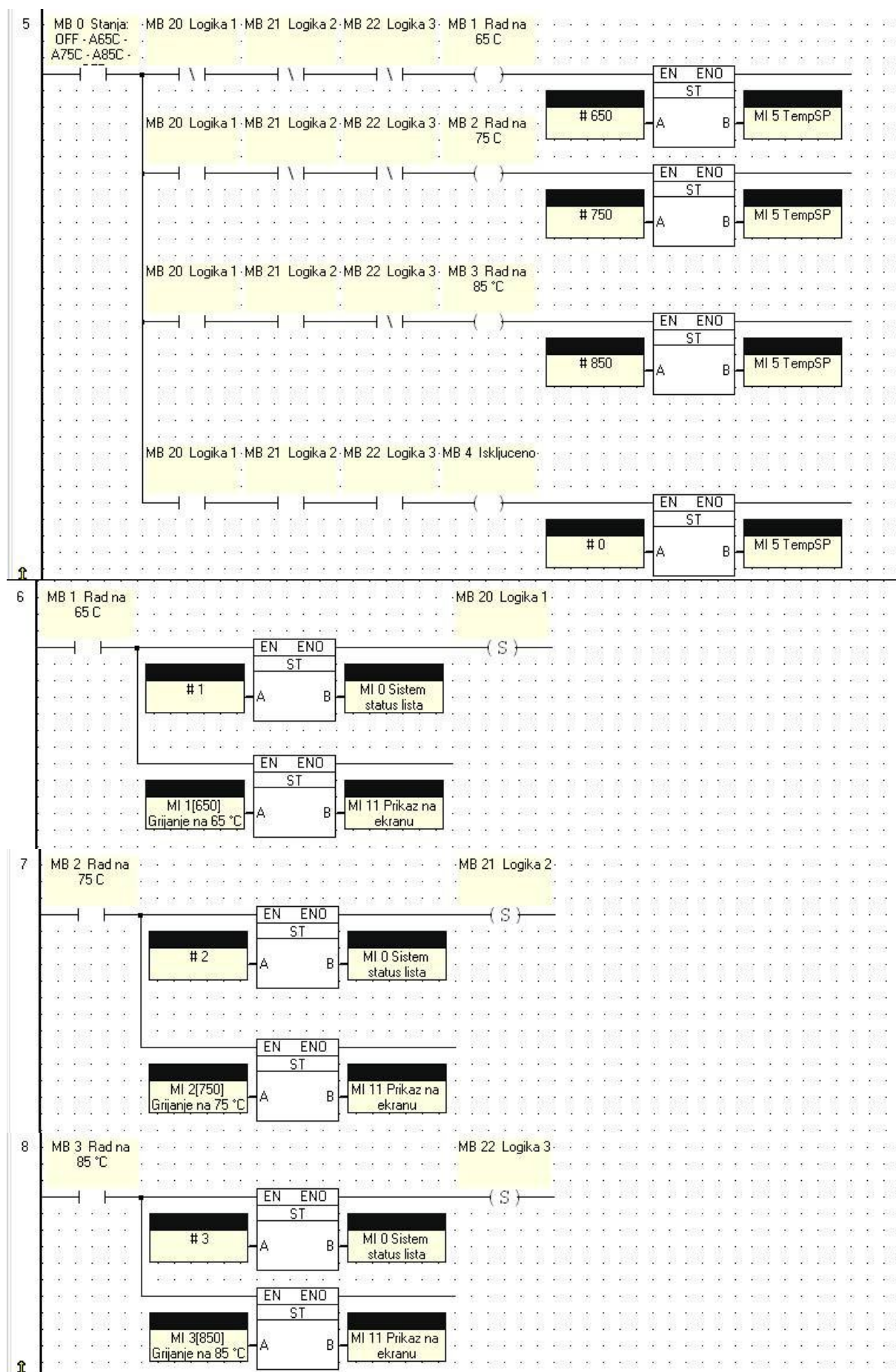
Broj linije	Opis	Napomena
11.	Aktiviranje brojača vremena pasterizacije za način rada pri 65 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 6. liniji.
12.	Dio logičkog rješenja za pumpu, mješalicu u nižoj i višoj brzini, grijač i kompresor za odabranu pasterizaciju pri 75 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 7. liniji.
13.	Aktiviranje brojača vremena za način rada pri 75 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 7. liniji.
14.	Dio logičkog rješenja za pumpu, mješalicu u nižoj i višoj brzini, grijač i kompresor za odabranu pasterizaciju pri 85 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 7. i 8. liniji.
15.	Aktiviranje brojača vremena za način rada pri 85 °C.	Ovaj dio se aktivira postavljanjem logike u 7. i 8. liniji.
16.	Po završetku procesa aktivira se "čuvar smjese" i vraća sve vrijednosti za procese pasterizacije na početne.	
17.	Dio logičkog rješenja za nižu brzinu mješalice, višu brzinu mješalice i hlađenje.	
18.	Logika za davanje signala na izlaz 3. Pokretanje crpke radnog medija. Dio logike za grijač.	Izlaz 3 - Pumpa radnog medija.
19.	Rješenje za isključivanje ili uključivanje izlaza 5 (nivo ventil posude).	Izlaz 5 - Nivo ventil posude.

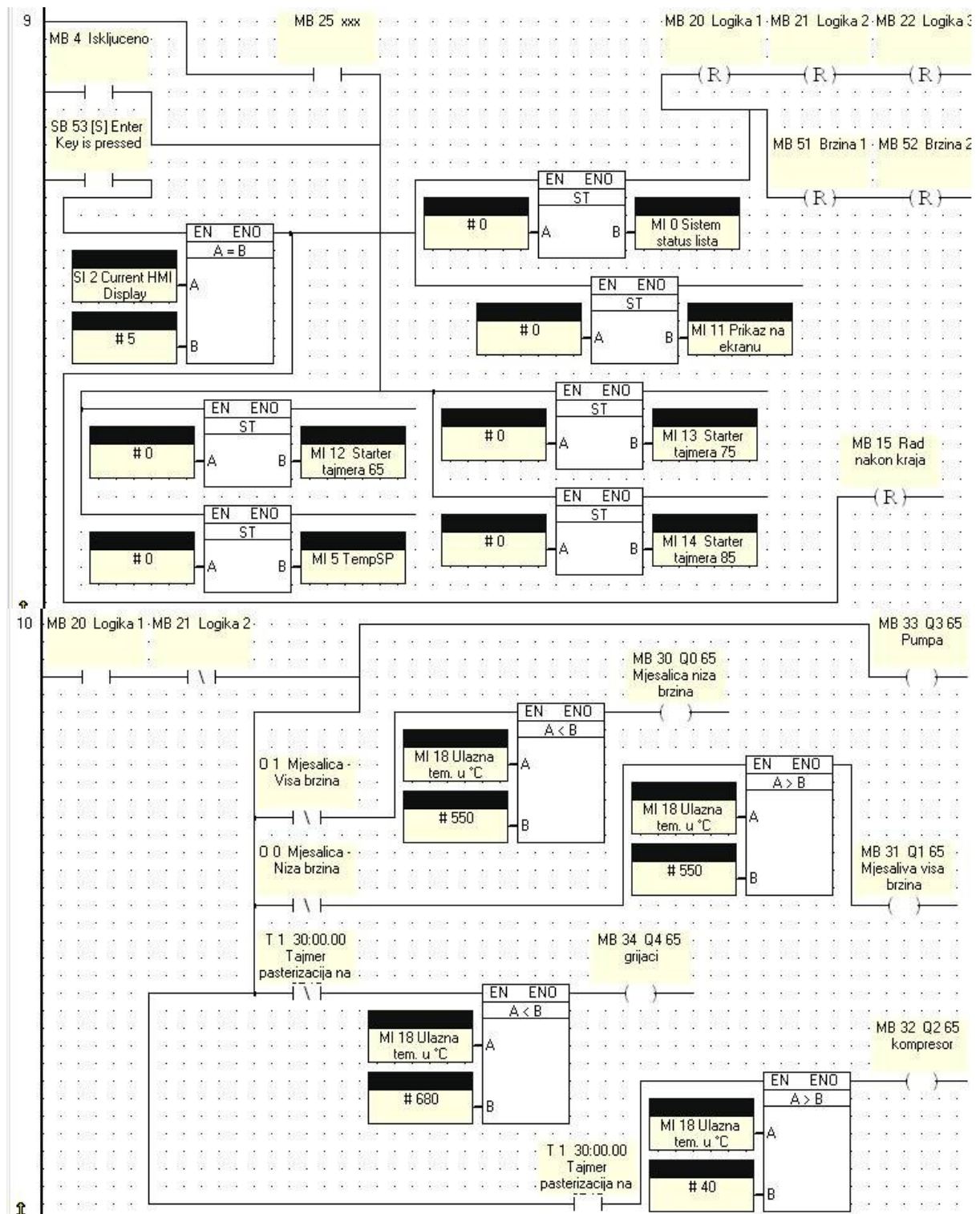
Broj linije	Opis	Napomena
20.	Rješenje za prikaz na ekran statusa rada.	Status može biti isključeno, grijanje ili hlađenje.
21. 22.	Rješenje za ručno upravljanje radom mješalice.	Mješalica ima mogućnost samostalnog rada.
23.	Rješenje za ručno pokretanje grijanja ili hlađenja, tj. kompresora i pumpe ili grijača i pumpe.	Pristup ovom dijelu je onemogućen. Pristup je dopušten samo monteru ili serviseru.
24. 25. 26.	Trenutno nemaju nikakvu funkciju.	
27. 28.	Rješenje za izlaz 4 - Grijač.	Izlaz 4 - Grijač.
29.	Temperaturna histereza za automatsko prebacivanje između brzina mješalice.	Histereza je potrebna kako bi se zaštitila oprema od kvara zbog "poskakivanja" signala.
30.	Rješenje za izlaz 0 - Mješalica niža brzina i izlaz 1 - Mješalica viša brzina.	Izlaz 0 - Mješalica - niža brzina. Izlaz 1 - Mješalica - viša brzina.
31.	Dio rješenja za uključivanje kompresora.	
32.	Dio rješenja za isključivanje kompresora.	
33.	Rješenje za rad mješalice kod čuvanja smjese.	Mješalica kod čuvanja smjese.
34.	Rješenje za rad kompresora kod čuvanja smjese.	Kompresor kod čuvanja smjese.
35.	Rješenje za izlaz 2 - Kompresor.	Izlaz 2 - Kompresor.
36.	Dio upravljanja kompresorom nakon završetka procesa pasterizacije.	

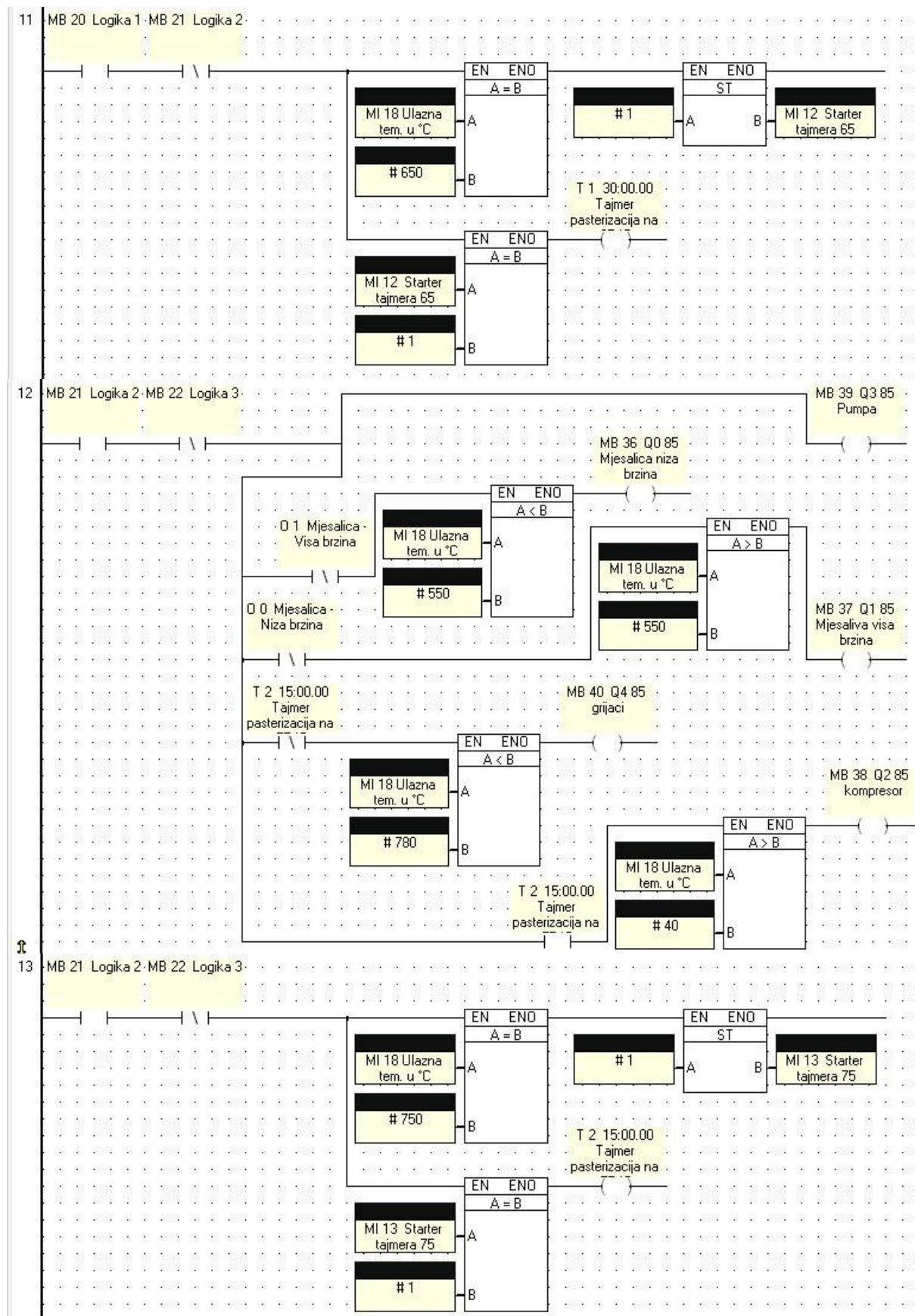
## Stepeničasti dijagram



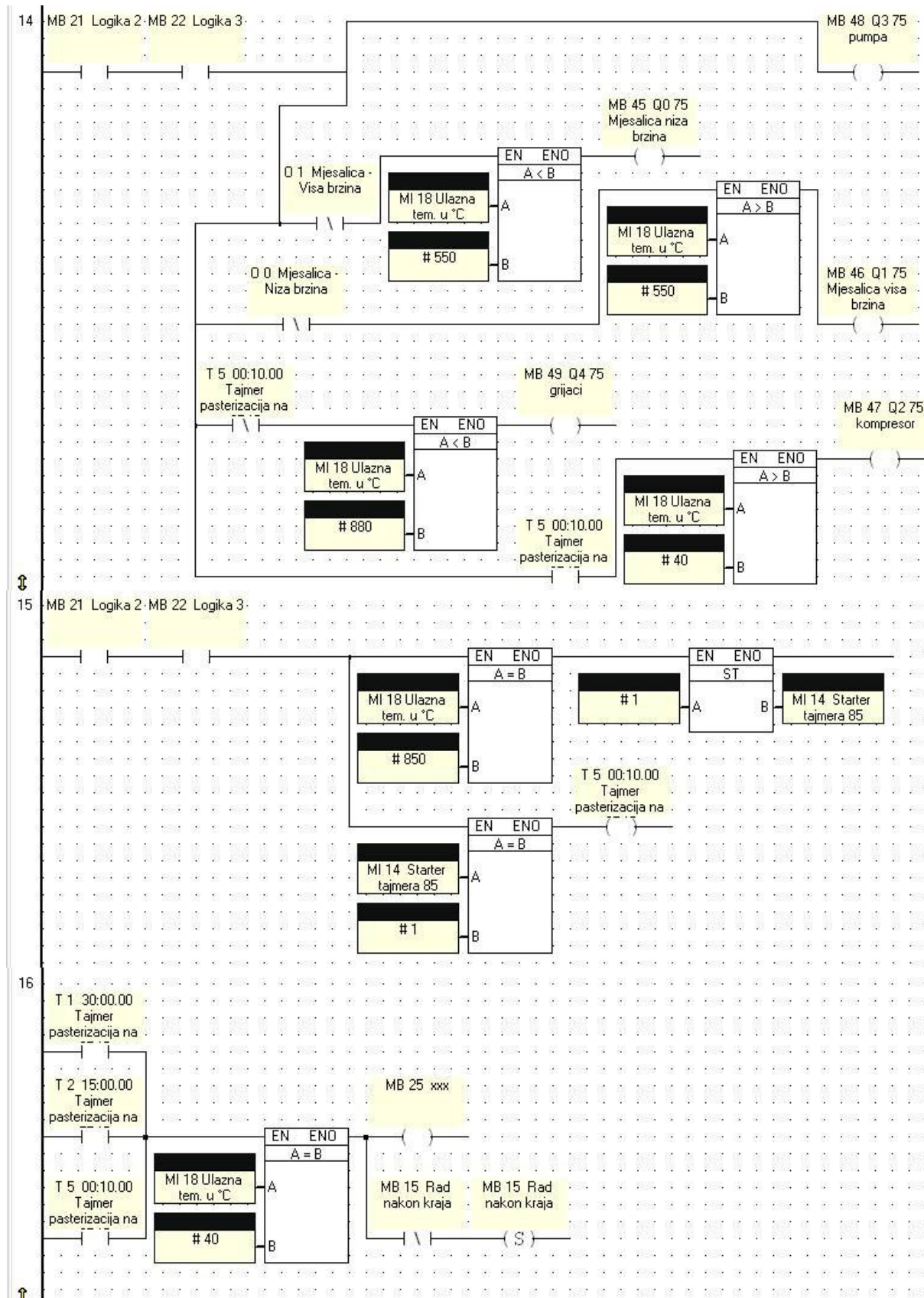


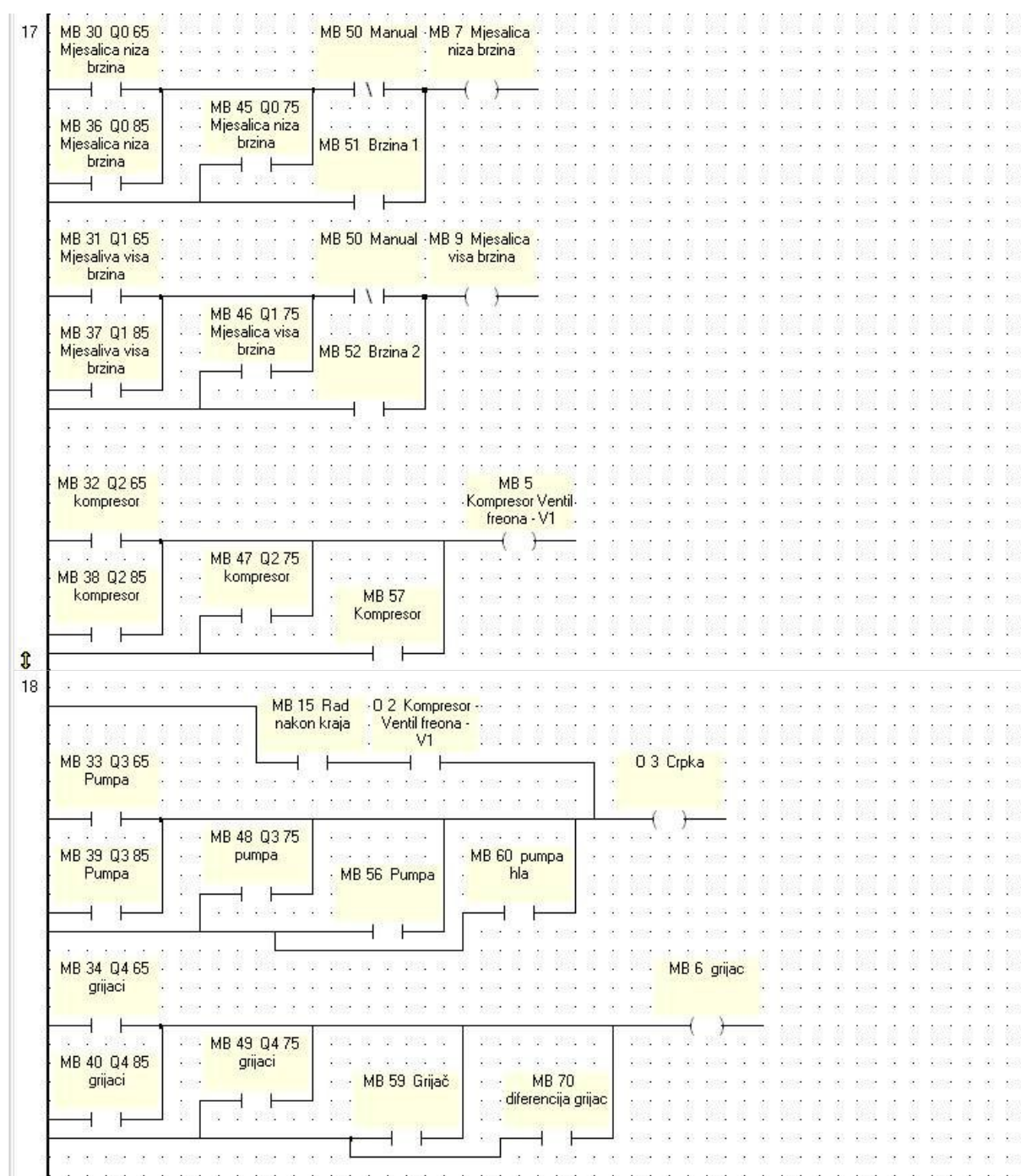


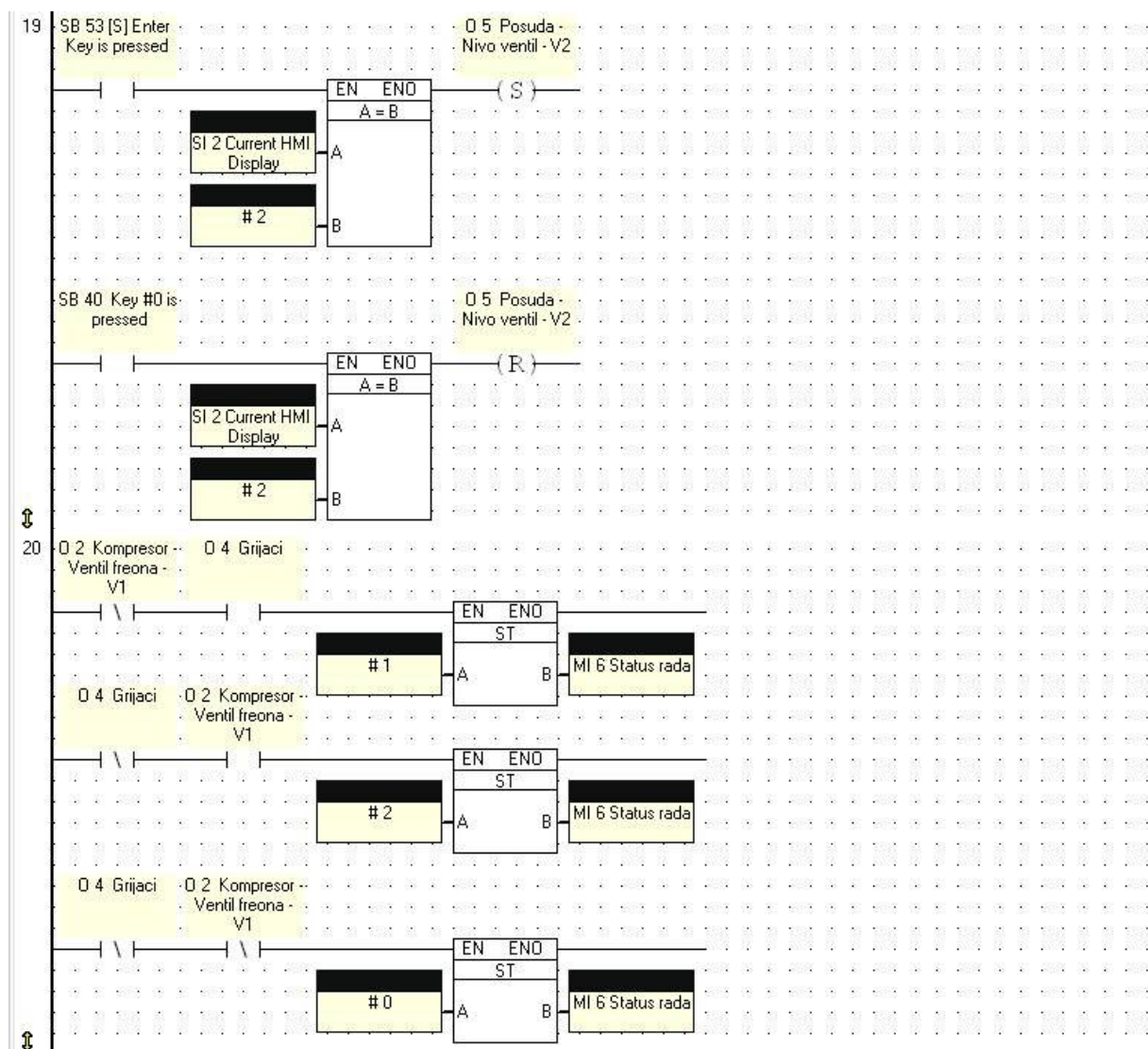


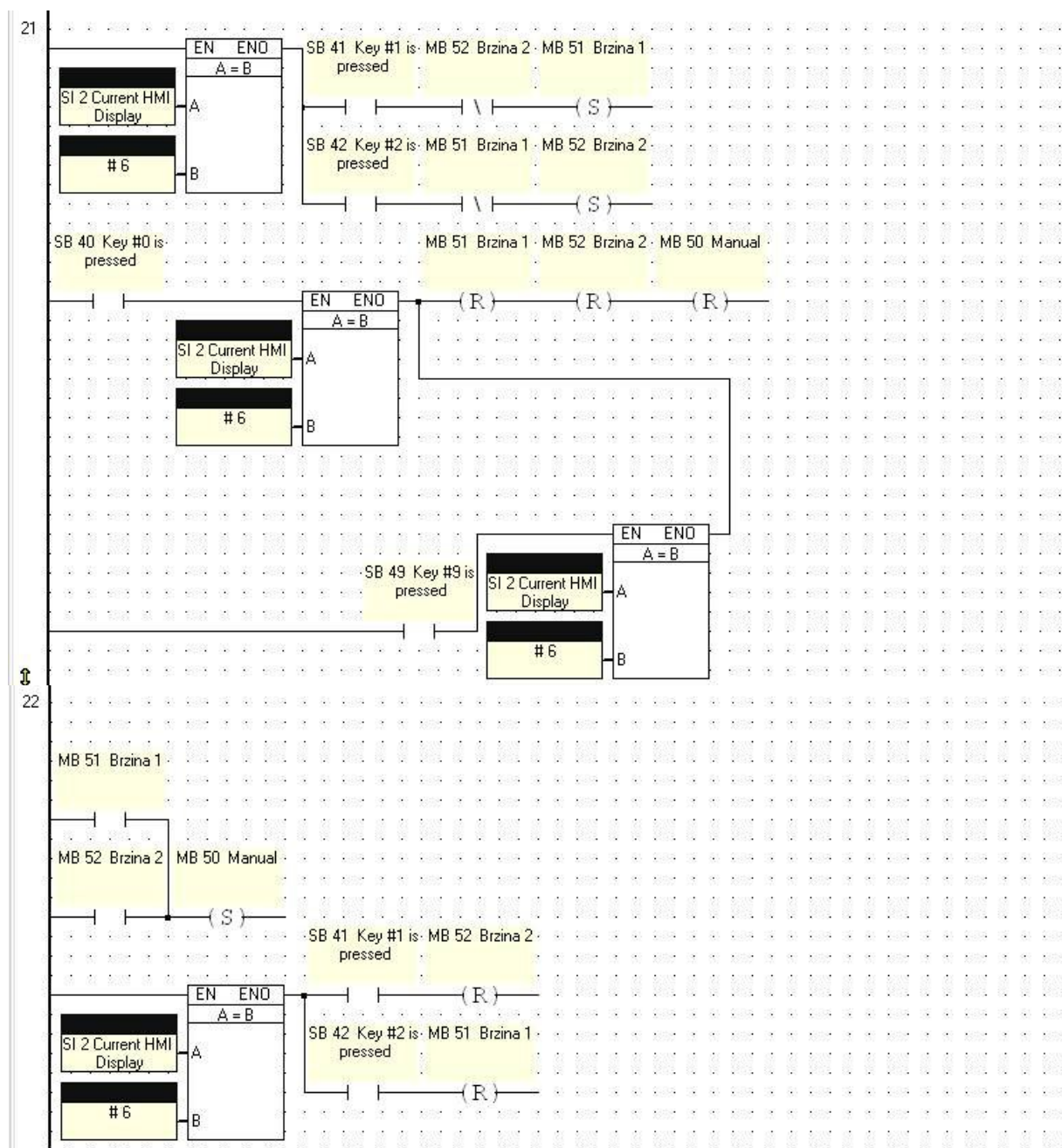




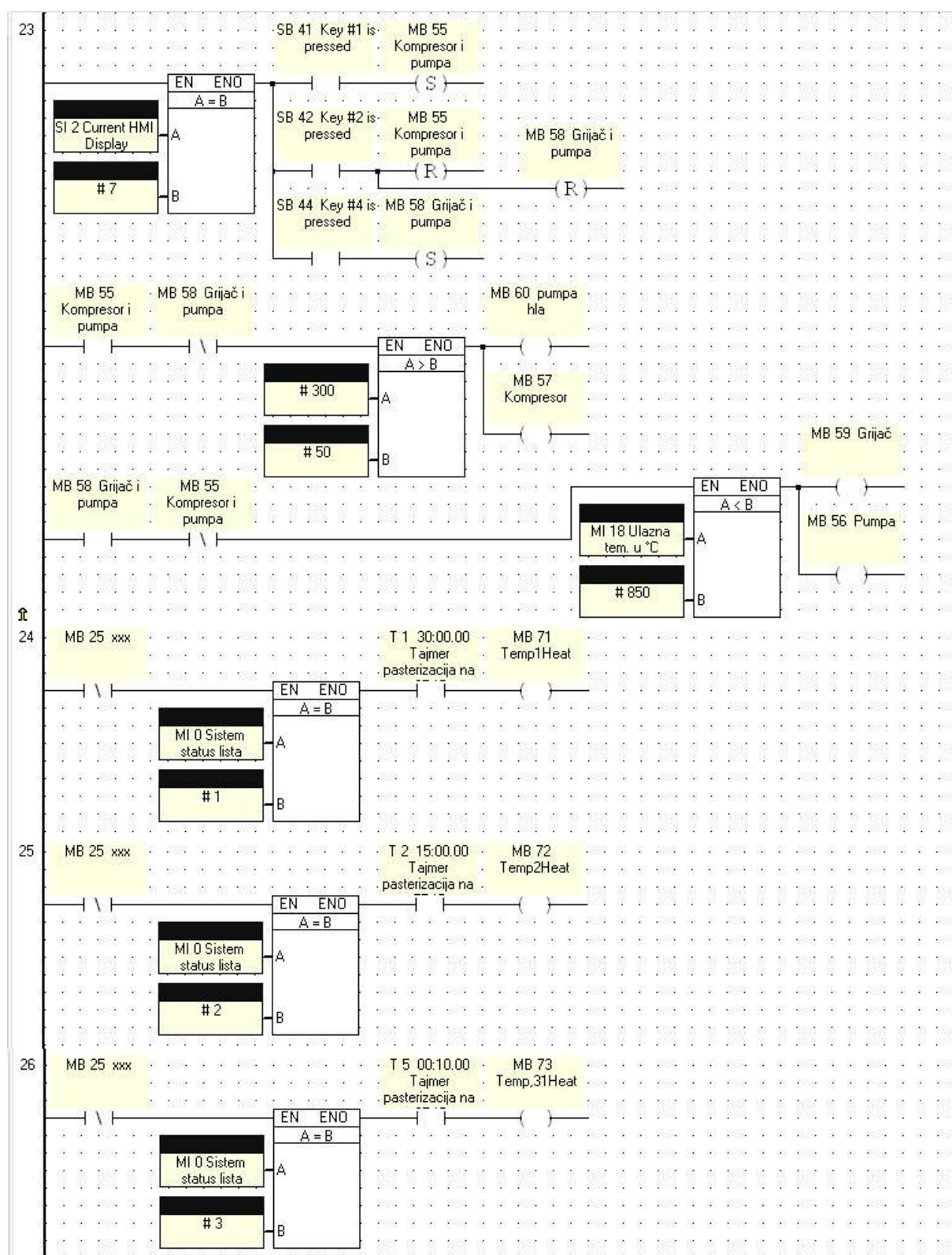




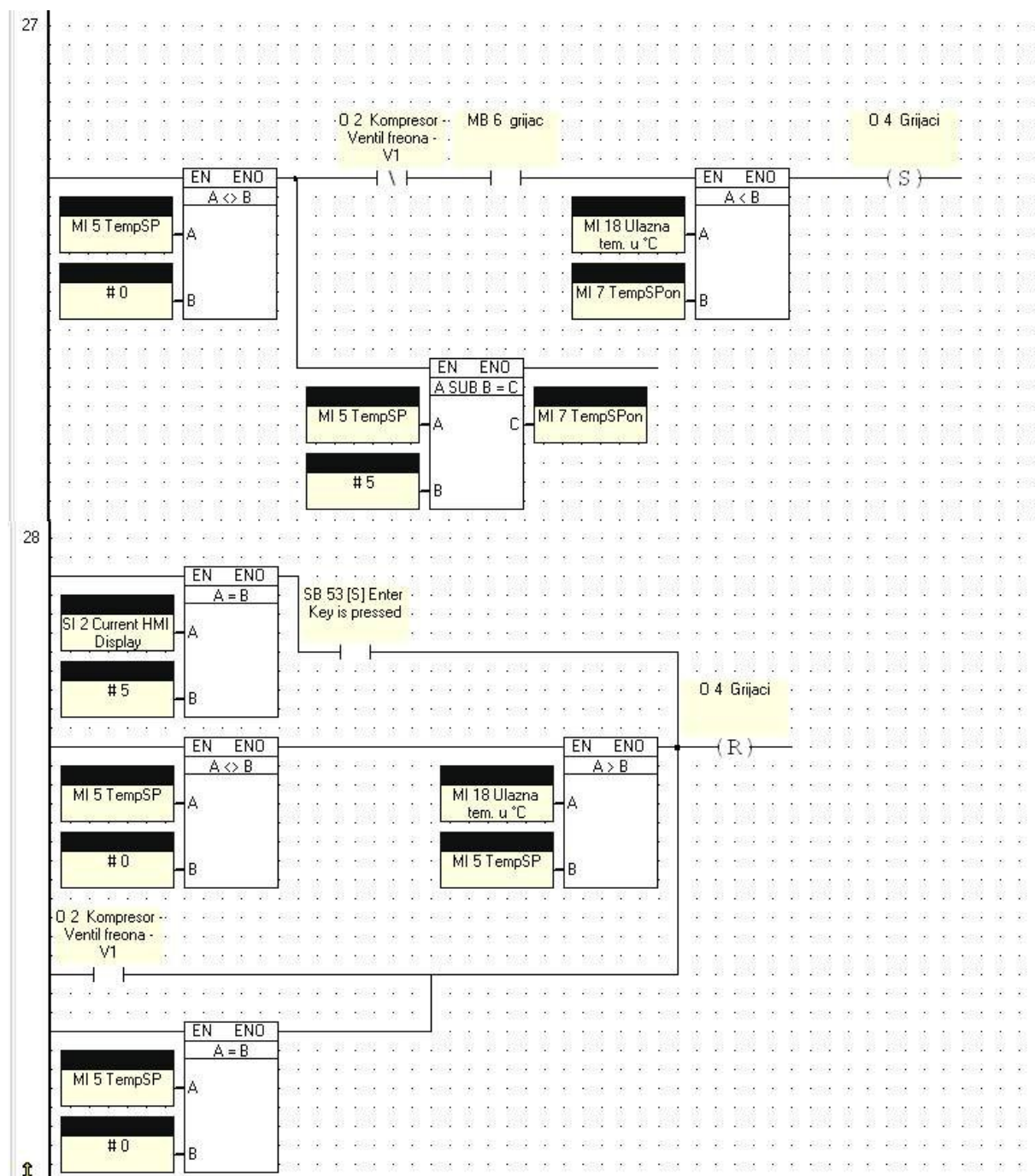


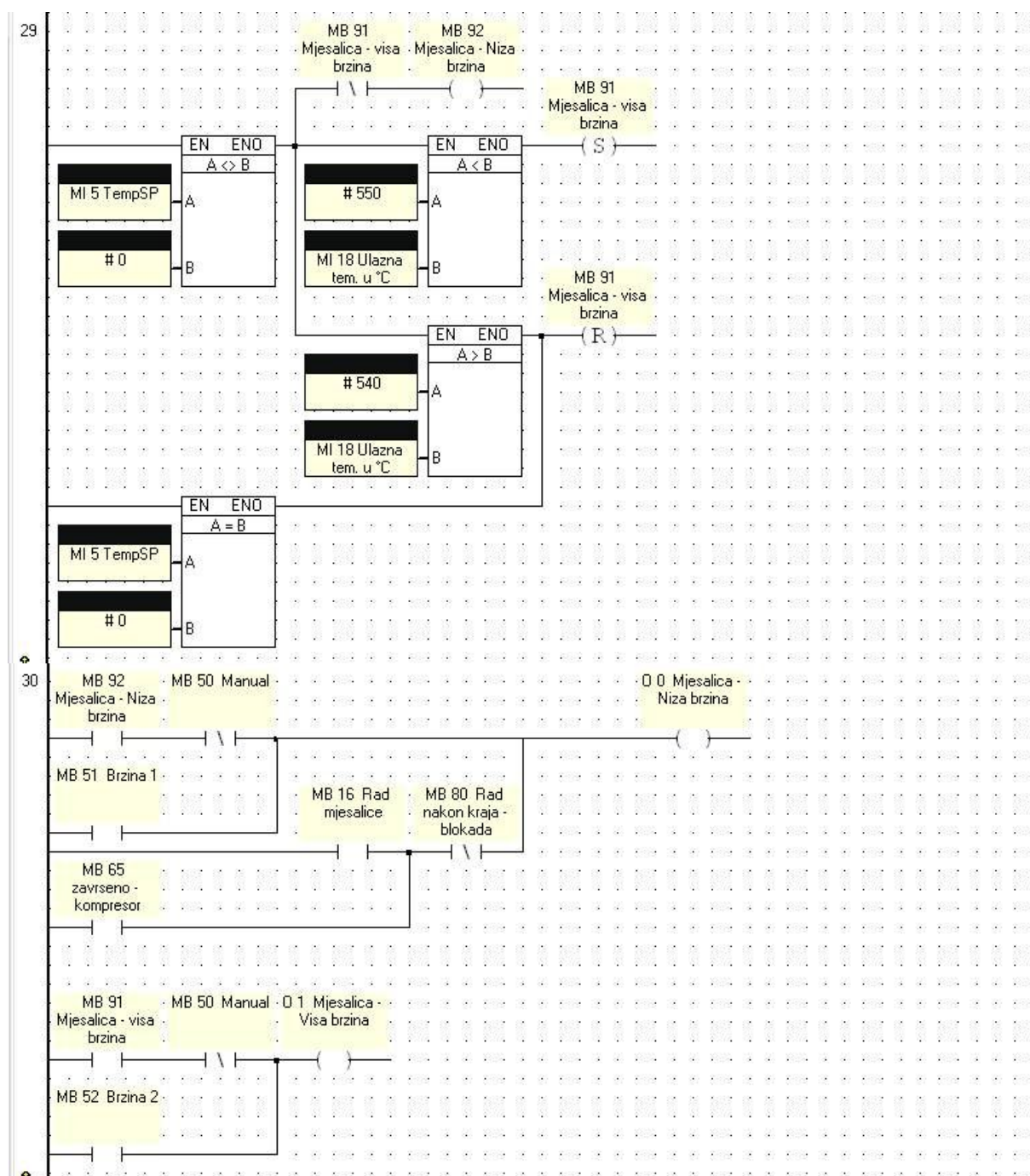


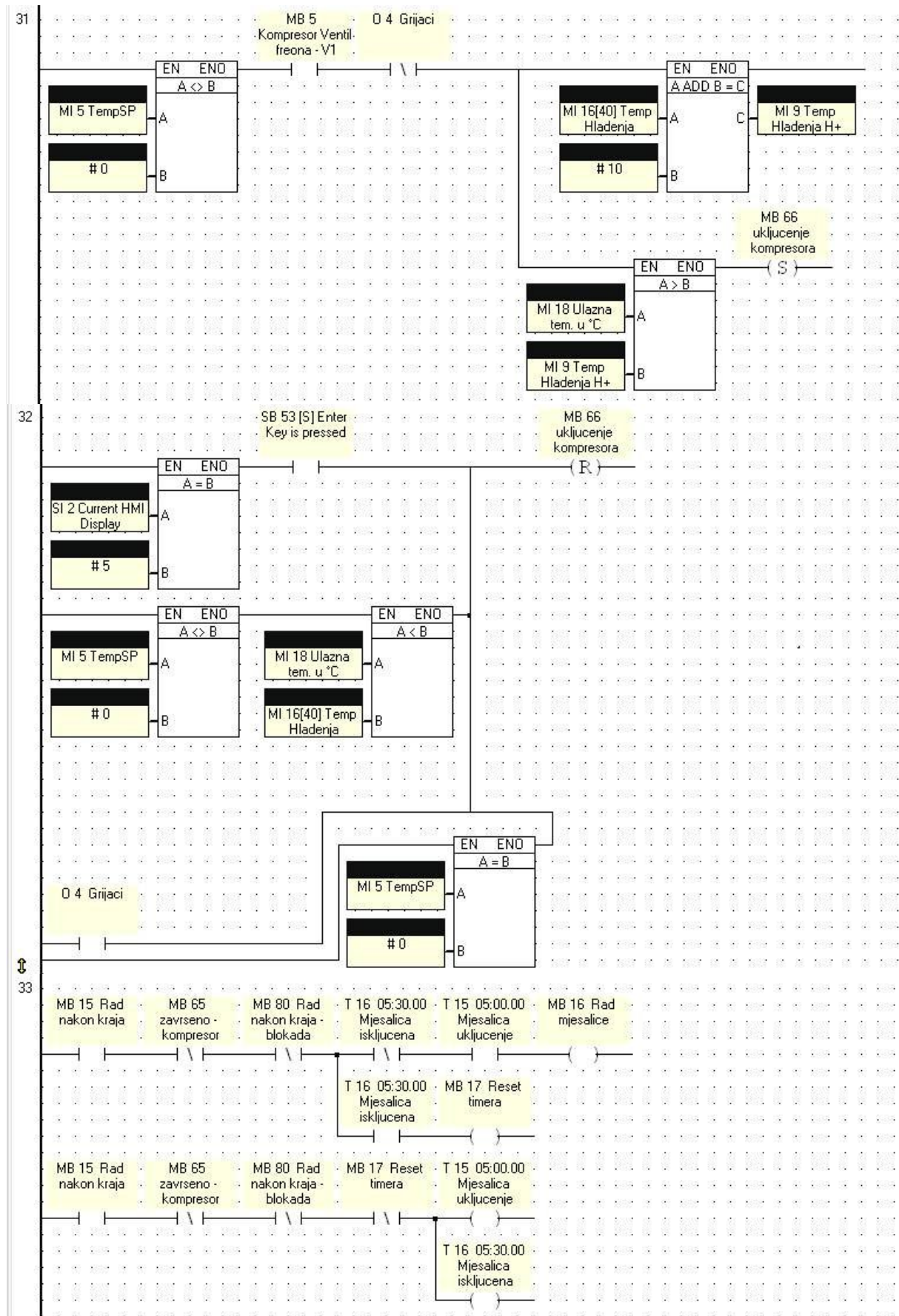


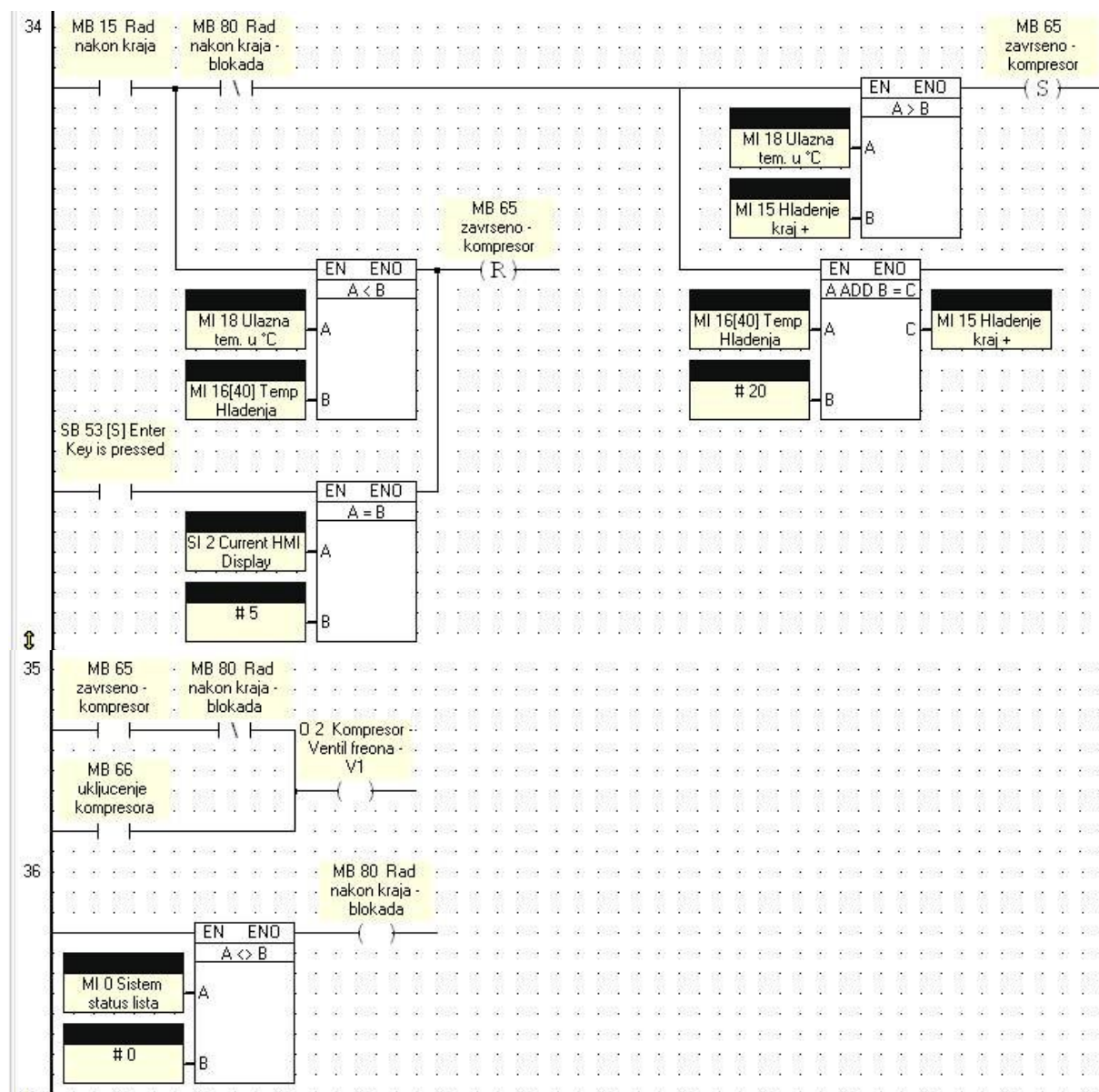

















## Prilog A.2. – Inicijalne vrijednosti


Dane su inicijalne vrijednosti koje se postavljaju pri uključenju PLC-a.

		UNITRONICS M90 OPLC™		
		Power Up		
Operand	Address	In Use	Power Up	Symbol
MI	1	x	650	Grijanje na 65 °C
MI	16	x	40	Temp Hladenja
MI	2	x	750	Grijanje na 75 °C
MI	3	x	850	Grijanje na 85 °C
SB	53	x	1	Enter Key is pressed


## Prilog A.3. - Varijable

Prikazane su varijable koje se koriste u programu. Vidljivo je koje dijelove programa povezuju, kao i koje vrijednosti mogu postići.


**Unitronics**  
Industrial Automation Systems

**Variable 1** **UNITRONICS M90 OPLC™**  
Trenutna temperatura


Linked to: MI 18 - Ulazna tem. u °C  
Format: xxxxx  
Modification via keypad: Disabled

**Variable 2** Status sustava

Linked to: MI 0 - Sistem status lista  
  
Type: Pointer  
  
0: OFF  
1: A65C  
2: A75C  
3: A85C

**Variable 3** prikaz na ekranu

Linked to: MI 11 - Prikaz na ekranu  
  
Format: x.xxxx  
Linearization disabled  
Modification via keypad: Disabled

**Variable 4** Razina posude

Linked to: O 5 - Posuda - Nivo ventil - V2  
  
Text for off (0): Cijela  
Text for on (1): Pola

Paster sladoleda v1.0b - 18.12.08..

Page 1

07.01.09 22:21:46



UNITRONICS M90 OPLC™



Variable 5

Status rada

Linked to: MI 6 - Status rada

Type: Pointer

0: OFF  
1: HEAT  
2: COOL



Variable 6

Razina posude OZNAKA

Linked to: 0 5 - Posuda - Nivo ventil - V2

Text for off (0): 1.0

Text for on (1): 0.5



Variable 7

Radni status sustava

Linked to: MI 0 - Sistem status lista

Format: xxxxx

Linearization disabled

Modification via keypad: Disabled



Variable 8

brzina 2

Linked to: MB 52 - Brzina 2

Text for off (0): \_

Text for on (1): 2



UNITRONICS M90 OPLC™



Variable 9

Brzina 1

Linked to: MB 51 - Brzina 1

Text for off (0):\_

Text for on (1):1



Variable 10

manual ili automat

Linked to: MB 50 - Manual

Text for off (0):A

Text for on (1):M



Variable 11

Manualno kompresor

Linked to: MB 55 - Kompresor i pumpa

Text for off (0):Isklj.

Text for on (1):Uklj.



Variable 12

manualno grijanje

Linked to: MB 58 - Grijač i pumpa

Text for off (0):Isklj.

Text for on (1):Uklj.





UNITRONICS M90 OPLC™



Variable 13

Status - Hladenje nakon za

Linked to: MB 15 - Rad nakon kraja

Text for off (0):0

Text for on (1):1

## Prilog A.4. – Korišteni simboli

Dan je popis svih simbola korištenih u programu. Radi lakšeg snalaženja, dano je objašnjenje što svaki simbol znači.

### Značenje korištenih simbola

DS	- ekran
I	- ulaz
LB	- petlja
O	- izlaz
MB	- memorijski bit podatak
MI	- memorijski integer podatak
R	- poništavanje vrijednosti
S	- postavljanje vrijednosti
SB	- sistemski bit podatak
SI	- sistemski integer podatak
ST	- spremanje vrijednosti
T	- brojač
VR	- varijabla

### Simboli

DS	1	Glavni
DS	2	Razina posude
DS	3	Odabir i start
DS	4	Manualni rad mjesalice
DS	5	Prekid programa
DS	6	Manualni odabir
DS	7	Manualno kompresor , pumpa i grijač
I	0	Mjesalica - Niza brzina
I	1	Mjesalica - Visa brzina
I	2	Kompresor - Ventil freona - V1
I	3	Crpka
I	4	Grijaci
I	5	Posuda - Nivo ventil - V2
MB	0	Stanja: OFF - A65C - A75C - A85C - OFF
MB	1	Rad na 65 C
MB	11	Uključen na 65
MB	12	Rad na 85
MB	13	Rad na 75
MB	15	Rad nakon kraja
MB	16	Rad mjesalice
MB	17	Reset timera
MB	2	Rad na 75 C
MB	20	Logika 1
MB	21	Logika 2
MB	22	Logika 3

MB	25	xxx
MB	3	Rad na 85 °C
MB	30	Q0 65 Mjesalica niza brzina
MB	31	Q1 65 Mjesaliva visa brzina
MB	32	Q2 65 kompresor
MB	33	Q3 65 Pumpa
MB	34	Q4 65 grijaci
MB	36	Q0 85 Mjesalica niza brzina
MB	37	Q1 85 Mjesaliva visa brzina
MB	38	Q2 85 kompresor
MB	39	Q3 85 Pumpa
MB	4	Isključeno
MB	40	Q4 85 grijaci
MB	45	Q0 75 Mjesalica niza brzina
MB	46	Q1 75 Mjesalica visa brzina
MB	47	Q2 75 kompresor
MB	48	Q3 75 pumpa
MB	49	Q4 75 grijaci
MB	5	Kompresor Ventil freona - V1
MB	50	Manual
MB	51	Brzina 1
MB	52	Brzina 2
MB	55	Kompresor i pumpa
MB	56	Pumpa
MB	57	Kompresor
MB	58	Grijač i pumpa
MB	59	Grijač
MB	6	grijac
MB	60	pumpa hla
MB	65	završeno - kompresor
MB	66	uključenje kompresora
MB	7	Mjesalica niza brzina
MB	70	diferencija grijac
MB	71	Temp1Heat
MB	72	Temp2Heat
MB	73	Temp,31Heat
MB	8	Izbor programa
MB	80	Rad nakon kraja - blokada
MB	9	Mjesalica visa brzina
MB	91	Mjesalica - visa brzina
MB	92	Mjesalica - Niza brzina
MB	99	restert grijača
MI	0	Sistem status lista
MI	1	Grijanje na 65 °C
MI	10	Nacini rada pastera
MI	11	Prikaz na ekranu
MI	12	Starter tajmera 65
MI	13	Starter tajmera 75
MI	14	Starter tajmera 85
MI	15	Hladenje kraj +

MI	16	Temp Hladenja
MI	18	Ulazna tem. u °C
MI	19	Analogni ulaz
MI	2	Grijanje na 75 °C
MI	20	test
MI	3	Grijanje na 85 °C
MI	30	Radni status sustava
MI	31	Radni prikaz za ekran
MI	4	Isključeno
MI	5	TempSP
MI	6	Status rada
MI	7	TempSPon
MI	8	Izbor programa
MI	9	Temp Hladenja H+
O	0	Mjesalica - Niza brzina
O	1	Mjesalica - Visa brzina
O	2	Kompresor - Ventil freona - V1
O	3	Crpka
O	4	Grijaci
O	5	Posuda - Nivo ventil - V2
SB	2	Power-up bit
SB	40	Key #0 is pressed
SB	41	Key #1 is pressed
SB	42	Key #2 is pressed
SB	43	Key #3 is pressed
SB	44	Key #4 is pressed
SB	45	Key #5 is pressed
SB	46	Key #6 is pressed
SB	47	Key #7 is pressed
SB	48	Key #8 is pressed
SB	49	Key #9 is pressed
SB	5	Output(s) short circuit
SB	50	Key (+/-) is pressed
SB	51	Left Arrow Key is pressed
SB	52	Right Arrow Key is pressed
SB	53	Enter Key is pressed
SB	6	Keyboard Is Active
SB	8	Back-up Battery Low (relevant to M91 series only)
SB	80	Activate linear function
SI	80	Linear conversion: x1 value
SI	81	Linear conversion: x2 value
SI	82	Linear conversion: y1 value
SI	83	Linear conversion: y2 value
SI	84	Linear conversion: X (input) value
SI	85	Linear conversion: Y (result) value
T	1	Tajmer pasterizacija na 65 °C
T	10	Tajmer za isključenje grijača
T	15	Mjesalica uključenje
T	16	Mjesalica isključena
T	2	Tajmer pasterizacija na 75 °C

T	5	Tajmer pasterizacija na 85 °C
VR	1	Trenutna temperatura
VR	10	manual ili automat
VR	11	Manualno kompresor
VR	12	manualno grijanje
VR	13	Status - Hladenje nakon zavrsetka
VR	2	Status sustava
VR	3	prikaz na ekranu
VR	4	Razina posude
VR	5	Status rada
VR	6	Razina posude OZNAKA
VR	7	Radni status sustava
VR	8	brzina 2
VR	9	Brzina 1